



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

BACHELOR'S THESIS

ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ NÁSTROJOVÝCH OCELÍ

HEAT TREATMENT OF TOOL STEELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matěj Kubín

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Vít Jan, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav materiálových věd a inženýrství
Student: **Matěj Kubín**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Vít Jan, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Tepelné zpracování nástrojových ocelí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Teoreticky pojednejte postupy tepelného zpracování nástrojových ocelí včetně rychlořezných. Provedte experimenty tepelného zpracování zadané ocele a mikrostrukturní studii vzorků po jednotlivých krocích tepelného zpracování.

Cíle bakalářské práce:

Nastudovat a pochopit mechanismy určující vlastnosti nástrojových ocelí po tepelném zpracování. Aplikovat poznatky na tepelné zpracování konkrétní ocele a provést metalografickou analýzu dosažených mikrostruktur.

Seznam doporučené literatury:

Fremunt, P. a Podrábský, T. Konstrukční oceli. Brno: Cerm, 1996. 267 s.

Pluhař, J., Puškár, A., Koutský, J., Macek, K. a Beneš, V. Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálu. Praha: SNTL, 1987. 298 s.

Šenberger, J. aj. Metalurgie oceli na odlitky. Brno: Vysoké učení technické v Brně - Nakladatelství VUTUM, 2008. 310 s. ISBN 978-80-214-3632-9.

Ptáček, L. a kol. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 384 s. ISBN 80-7204-248-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá tepelným zpracováním nástrojových ocelí. Práce je rozdělená do dvou částí. Teoretická část obsahuje značení, vlastnosti a teoretické zpracování nástrojových ocelí. Dále obsahuje použitou techniku pro přípravu vzorků. V experimentální části byly zkoumány dva běžně prodávané vrtáky. Z vrtáku byly připraveny vzorky, na kterých byl proveden metalografický rozbor a tepelné zpracování.

Summary

This thesis deals with heat treatment of tool steels. The work is divided into two parts. The theoretical part includes marking, properties and theoretical processing of tool steels. It also contains the technique which is used for sample preparation. In the experimental part there is an examination of the two common sold drills. Samples were made from the drill, on which metallographic analysis and heat treatment was performed.

Klíčová slova

Nástrojová ocel, karbidy, tepelné zpracování nástrojových ocelí, světelná mikroskopie

Keywords

Tool steel, carbides, heat treatment of tool steels, light microscopy

Bibliografická citace práce

KUBÍN, M. *Tepelné zpracování nástrojových ocelí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 55 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Vít Jan, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma tepelné zpracování nástrojových ocelí vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Víta Jana, Ph.D. a s použitím uvedené literatury.

V Brně, dne: 27.5.2017.

.....

Kubín Matěj

.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Vítu Janovi, Ph.D. za vedení a pomoc při řešení této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Janu Čuperovi za pomoc s analytickou elektronovou mikroskopií.

V poslední řadě bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za jejich podporu.

Matěj Kubín

Obsah

1	Úvod	10
2	Nástrojové materiály	11
2.1	Druhy materiálů	12
2.1.1	Nástrojová ocel	12
2.1.2	Slinuté nástrojové materiály	16
2.1.3	Keramické řezné materiály	17
2.1.4	Supertvrdé řezné materiály	18
2.2	Dělení nástrojových ocelí podle použití	18
2.3	Strukturní složky nástrojových ocelí	19
2.3.1	Martenzit	19
2.3.2	Zbytkový austenit	20
2.3.3	Karbidy	20
2.4	Požadavky na nástrojové oceli	21
2.4.1	Tvrdost	21
2.4.2	Pevnost	21
2.4.3	Houževnatost	21
2.4.4	Kalitelnost a prokalitelnost	22
2.4.5	Odolnost proti popouštění	22
2.4.6	Odolnost proti otěru a otupení	23
2.4.7	Stálost rozměrů	23
3	Tepelné zpracování nástrojových ocelí	24
3.1	Nástrojové oceli uhlíkové a nízkolegované	24
3.1.1	Žihání	24
3.1.2	Žihání na odstranění vnitřního pnutí	25
3.1.3	Kalení	25
3.1.4	Popouštění	25
3.2	Nástrojové rychlořezné oceli	26
3.2.1	Žihání na měkko	27
3.2.2	Kalení rychlořezných ocelí	27
3.2.3	Popouštění	27

4	Experimentální techniky	28
4.1	Světelná mikroskopie	28
4.2	Elektronová mikroskopie a mikroanalýza	28
4.3	Měření tvrdosti	30
4.4	Pec a ochlazovací prostředí	30
4.5	Metalografická laboratoř	30
5	Experimentální materiál	31
5.1	Vrták HSS-R DIN 338	31
5.1.1	Chemické složení	31
5.1.2	Tvrdost vrtáku HSS-R DIN 338	31
5.1.3	Mikrostruktura	32
5.2	Vrták HSS-E Co	35
5.2.1	Chemické složení	35
5.2.2	Tvrdost vrtáku HSS-E Co	35
5.2.3	Mikrostruktura	36
6	Návrh tepelného zpracování a výsledky experimentů	39
6.1	Tepelné zpracování vrtáku HSS-R DIN 338	39
6.2	Tepelné zpracování vrtáku HSS-E Co	42
7	Diskuze	45
8	Závěr	47
	Seznam použité literatury	48
	Seznam použitých zkratk a symbolů	49
	Seznam příloh	50

1 Úvod

Nástrojové oceli zaujímají místo mezi materiály používané na výrobu nástrojů. Existuje široký sortiment ocelí s dobře prostudovanými vlastnostmi, který umožňuje výběr vhodné oceli pro daný účel použití. Pokrok v technologii umožnil ke zvýšení čistoty, homogenity a rozptýlení vlastností. Dále ke zlepšení užitných vlastností a výkonnosti nástrojů přispívají nové technologie výroby nástrojů tepelné zpracování a povrchové úpravy. Nástrojové oceli budou mít i nadále dominantní postavení při výrobě tvářecích, řezných a ostatních nástrojů ve strojírenství a v mnoha odvětvích průmyslu. Členění nástrojových ocelí do samostatných tříd souvisí podle jejich požadovaných vlastností. U nástrojových ocelí musí být zaručeny mechanické vlastnosti, ale také nesmí být zanedbána tepelná únava, teplotní stálost. Životnost nástrojů závisí na chemickém složení a tepelném zpracování. Dále závisí na vlastnostech polotovarů. Při výběru ocelí na nástroje je kladen důraz, protože výroba nástrojů je pracná, také cena je obvykle vysoká. Cenu nástroje ovlivňuje mnoho faktorů například lidská práce, jakost, dostupnost a náklady strojů. Vysoká cena nástroje je vyvážená ve větším případě vysokou životností.

2 Nástrojové materiály

Na nástrojové oceli jsou kladeny vysoké požadavky. U některých nástrojů se požaduje vysoká tvrdost a pevnost. Někdy se mechanické vlastnosti snižují, aby se získala potřebná vysoká houževnatost. U nástrojů, které pracují za tepla, musí zůstat zachovány mechanické vlastnosti i za zvýšených teplot. Dále některé nástroje vyžadují vysokou odolnost proti abrazivnímu a adhezivnímu opotřebení a někdy i za zvýšených teplot. Nástrojové oceli musí mít také nižší obsah vměstků a rovnoměrně rozložené karbidy v matrici, aby se snížilo nebo zamezilo nebezpečí praskání nástrojů při kalení a vyštípování břitu za provozu. Dalšími požadavky jsou prokalitelnost a odolnost proti korozi. [2]

Nástrojové materiály můžeme prvně rozdělit nástroje podle použití materiálu jako je nástrojová ocel, slinutý karbid a keramika. Poté jsou další specifické dělení např. podle chemického složení, použití nebo značení u jednotlivých materiálů.

2.1 Druhy materiálů

Používá se nástrojová ocel, slinutý karbid a keramika a supertvrdé materiály. Supertvrdé materiály jsou kubický nitrid bóru a polykrystalický diamant.

2.1.1 Nástrojová ocel

Nástrojové oceli můžeme rozdělit:

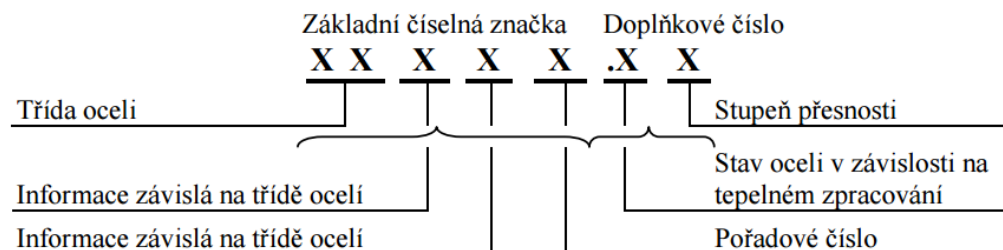
- značení podle ČSN 42 0002
- značení podle ČSN EN 10027-2
- značení podle chemického složení

Základní dělení nástrojových ocelí:

- nelegované (uhlíkové)
- legované pro práci za studena
- legované pro práci za tepla
- rychlořezné

Nástrojové oceli můžeme rozdělit:

a) Značení podle ČSN 42 0002



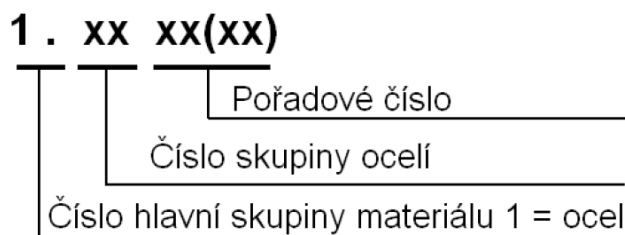
Obrázek 2.1: Schéma číselného označení tvářených ocelí podle chemického složení [10]

Tabulka 2.1: Rozdělení a označení nástrojových ocelí. [3]

Třetí číslo v označení	Druh ocelí		Kombinace přísadových prvků
19 0XX 19 1XX 19 2XX	nelegované	-	0,3% C až 0,6% C 0,5% C až 1,1 % C 1,0% C až 1,5% C
19 3XX až 19 7XX	legované	různé kombinace přísadových prvků vyjádřené třetí číslicí v číselné značce	
19 8XX		rychlořezné	W-Cr-V, popřípadě další přísady
19 9XX		lité	různé kombinace

Příklad - 19 852

b) Systém číselného označování ocelí ČSN EN 10027-2: [10]



Obrázek 2.2: Systém číselného označování nástrojových ocelí dle ČSN EN 10027-2 [10]

- Nelegované nástrojové oceli mají číslo skupiny 1.15 xx až 1.19 xx
- Legované a rychlořezné oceli mají číslo skupiny 1.20 xx až 1.33 xx

Příklad 1.3243 (19 852)- Rychlořezná nástrojová ocel.

c) Značení nástrojových ocelí podle chemického složení: [13]

- Nelegované oceli (s výjimkou automatových ocelí) se středním obsahem manganu pod 1%

Tabulka 2.2: Značení nelegovaných ocelí (s výjimkou automatových ocelí) se středním obsahem manganu pod 1%.

Základní symboly		Přídavné symboly	
Písmeno	obsah uhlíku	Pro oceli - skupina 1	Pro oceli - skupina 2
G C	nnn	an.....	
G = ocel na odlitky (pokud je požadována) C = uhlík	nnn = stonásobek střední hodnoty rozsahu předepsaného pro obsah uhlíku	E= předepsaný maximální obsah síry R = předepsaný rozsah pro obsah síry D = pro tažený drát C = pro tváření za studena S = pro pružiny U = nástrojové W = svařovací dráty G = jiné charakteristiky	an = symboly pro další předepsané přídavné prvky

Příklad - C105U(19 191)

- Nelegované oceli se středním obsahem manganu menší nebo rovno 1%, nelegované a legované oceli (kromě rychlořezných ocelí) se středními obsahy jednotlivých legujících prvků pod 5%

Značení: číslo odpovídající stonásobku středního obsahu uhlíku + chemické symboly legujících prvků + čísla vyjadřující obsah charakteristických legujících prvků.

Příklad - 60 WCrV7

- Legované oceli (kromě rychlořezných ocelí) s obsahem minimálně jednoho legujícího prvku menší nebo rovno než 5 %.

Tabulka 2.3: Značení legovaných ocelí. [13]

Základní symboly		
Písmeno	obsah uhlíku	Legující prvky
G X	nnn	a.....n-n
G = ocel na odlitky (pokud je požadována) X= střední obsah minimálně jednoho legujícího prvku ≥ 5%	nnn = stonásobek střední hodnoty rozsahu předepsaného pro obsah uhlíku	a = chemické značky legujících prvků charakterizujících ocel, následují n-n = čísla, oddělená spojovací čárkou, která odpovídají střednímu obsahu příslušného prvku zaokrouhlenému na nejbližší vyšší číslo

Příklad - X210CrW12 (19 437)

- Rychlořezné oceli

Tabulka 2.4: Značení rychlořezných ocelí. [13]

Základní symboly	
Písmeno	obsah legujících prvků
HS	n-n
HS = rychlořezné oceli	n-n = čísla oddělená spojovací čárkou, která udávají obsah legujících prvků v následujícím pořadí - wolfram (W) - molybden (Mo) - vanad (V) - kobalt(Co)

Příklad označení rychlořezné nástrojové oceli HS 6-5-2-5 (19 852).

d) nelegované oceli

Nelegované oceli třídy 19.0, 19.1, 19.2 s obsahem uhlíku 0,3% do 1,5%. Maximální obsah křemíku a manganu nepřesahuje 0,3%. Uhlík ve struktuře určuje mechanické vlastnosti a strukturu ocelí. Do 0,8% uhlíku roste tvrdost a pevnost v tahu. Nad 0,8% uhlíku tvrdost nevzrůstá, ale vyšší obsah uhlíku zlepšuje odolnost proti opotřebení při poklesu houževnatosti vlivem zvětšujícího se obsahu karbidu Fe_3C . [3]

Nástrojové oceli nelegované se používají pro výrobu ručního nářadí a nástrojů používaných v zemědělství. Jedná se o výrobu méně náročných a menších nástrojů (nástroje na opracování dřeva, ruční nástroje, vrtáky, frézy, pilky na kov, závitníky). Z nelegovaných nástrojových ocelí se vyrábějí části nástrojů, které nesou legované nástrojové oceli, slinuté karbidy nebo keramické destičky. Nástroje s větším obsahem uhlíku cca 0,8 % se používají také na zápustky a matrice pro práci za studena (závitníky, nože, pily na dřevo). Nevýhodou nelegovaných nástrojových ocelí je nízká prokalitelnost. [1],[2]

e) legované oceli pro práci za studena

Legované oceli mají podobné využití jako nelegované. Mají větší prokalitelnost, vyšší tvrdost okolo 60 a 64 HRC a nižší pokles tvrdosti s teplotou. Legované oceli bývají legovány Cr, W, V, Mo. Součet legujících prvků (kromě chromových ocelí) nepřesahuje obvykle 3% až 5 %. Všechny uvedené legující prvky zvyšují tvrdost a odolnost nástrojů proti opotřebení a stabilitu karbidické fáze, ale na druhou stranu snižují tvrdost při popouštění. Prokalitelnost roste s koncentrací legujících prvků pokud předpokládáme, že při kalící teplotě jsou tyto prvky rozpustěny v austenitu. Používají se pro zhotovení nástrojů pro práci za studena jako protlačovací a protahovací trny, válce a průvlaky. [1],[2]

f) legované oceli pro práci za tepla

Legované oceli pro práci za tepla vyžadují vysokou odolnost proti deformaci, odolnost proti tepelné úpravě, odolnost proti erozi za pracovních teplot a oteřuvzdornost. Obsah uhlíku je 0,3% až 0,60%. Legované oceli jsou legovány molybdenem až do 3,00% vanadem až do 1,10% a chromem až do 5,50%. Legované oceli se používají na zápustky a silné trny pro děrování oceli při bežešvých trubek. Jsou to chromniklové oceli které obsahují cca 1% Cr a 0,12% V. Dále můžeme legované oceli použít na výrobu vstřikovacích forem s obsahem legur 5% Cr, 1,4% Mo a 1% Si. Další použití jsou na výrobu forem pro tlakové lití mosazi, lehkých kovů a pro nástroje na protlačování lehkých kovů a mědi. Dále se používá pro nástroje na zhotovení šroubů, nýtů a kovacího nářadí.[1],[2]

g) rychlořezné oceli

Je to ocel vysoce legovaná s obsahem uhlíku nad 0,70%. Wolfram je základním legujícím prvkem v rychlořezných ocelích, který bývá částečně nahrazen polovičním množstvím Mo. Typické složení rychlořezné oceli: 0,75% C, 4,0% Cr, 18,0% W a 1% V. Pokud chceme úspornější variantu, tak se sníží W na 10% a zvyšuje obsah V na 2% až 4%. Rychlořezné oceli pro největší výkony se legují Co do cca 12% popř. náhradou části W molybdenem. Rychlořezné oceli mají odolnost proti poklesu tvrdosti do 550 °C. [1],[3]

2.1.2 Slinuté nástrojové materiály

Slinuté karbidy, které se používají jako nástrojový materiál, patří k nejdůležitějším výrobkům práškové metalurgie. Ze slinutých nástrojových materiálů se vyrábí vyměnitelné břitové desičky pro nástroje k obrábění. Dále se může použít na činné plochy tvářecích nástrojů (protlačovací nástroje, průvlaky). Složkou materiálu je pojivo (používá se kobalt). Hlavní složkou je karbid titanu a karbid wolframu. Tyhle karbidy mají obvykle tvrdost HV 2000 až 3200. Podle složení je možno rozdělit slinuté karbidy do tří skupin: [3]

a) Materiály WC-Co - kobalt protichůdně ovlivňuje tvrdost a houževnatost. [3]

b) Materiály WC-TiC-Co - obsahují 35% až 85% WC, 5% až 15% Co a dosahují až 40% TiC. Ve srovnání s materiály WC-Co mají zvýšenou odolnost proti opotřebení za zvýšených teplot. Používají se na řezné nástroje pro obrábění ocelí. [3]

c) Materiály WC-TiC-TaC-Co - obsahují 5% až 15% TiC, 5% až 15% Co, 2% až 20% TaC a zbytek WC. Používají se na řezné nástroje pro ocel. Polotovary z uvedených materiálů jsou vyráběny slinováním ve vodíkové atmosféře nebo vakuu při vzniku kapalně fáze kobaltové složky. Řezné nástroje jsou opracovány elektroerozivně nebo broušením karborundovými kotouči s dokončením diamantovými kotouči. [3]

- Použití: Skupina P (modrá) - pro materiály s dlouhou třískou; možnost velkých řezných rychlostí. Skupina M (žlutá) - pro těžko obrobitelné (například austenitické oceli, žáruvzdorné a žárovevné slitiny, legované litiny). Skupina K (červená) - pro materiály s krátkou třískou (například litiny, zušlechťené oceli). [3]

2.1.3 Keramické řezné materiály

Keramické materiály mají základní složku Al_2O_3 . Vynikají vysokou tvrdostí i při vysokých teplotách od 1000°C do 1200°C . Značení, druhy, vlastnosti a použití viz tabulky 2.5 a 2.6. [3]

Tabulka 2.5: Označení skupiny obsahuje písemný symbol, pomlčku a označení hlavní skupiny obrábění a použití. [10]

Písemný symbol	Skupina
CA	oxidická keramika na bázi Al_2O_3
CC	povlakovaná keramika následujících druhů
CN	neoxidická keramika na bázi nitridu křemíku (Si_3N_4)
CM	směsná keramika na bázi Al_2O_3 s přísadou neoxidických komponent

Příklad: CA - K10

Tabulka 2.6: Druhy, vlastnosti a použití keramických řezných materiálů. [10]

Druh	Označení	Složení	Vlastnosti	Použití
CA	Disal 100	99% Al_2O_3	Vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení za vysokých teplot (1200°C). Řezné rychlosti 1200m/min.	Obrábění šedé litiny a konstrukčních ocelí nepřerušovaným řezem.
CC	Disal 210 Disal 220 Disal 230	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	Vysoká tvrdost, odolnost proti opotřebení za vysokých teplot, zvýšená houževnatost.	Obrábění šedé, sférické i temperované litiny, zúšlechťených konstrukčních ocelí i rychlořezných ocelí.
CM	Disal 310 Disal 320	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	Vysoká tvrdost a houževnatost, zvýšená odolnost proti teplotním šokům.	Obrábění kalených ocelí plynulým i přerušovaným řezem, lze použít chladicí kapalinu. Těž pro dokončovací frézování.
CN	Disal 400	Si_3N_4	Tvrdost a velmi vysoká houževnatost.	Obrábění všech druhů litiny (hrubování), přerušovaný řez, lze použít chladicí kapalinu. Frézování ocelí a litin.

2.1.4 Supertvrdé řezné materiály

Mezi supertvrdé řezné materiály patří kubický nitrid bóru (PKBN), polykryštalický diamant (PKD) a přírodní diamant. Pro obrábění se především první dva materiály. Druhy supertvrdých materiálů viz tabulka 2.7. [10]

Tabulka 2.7: Druhy, označení vlastností a použití supertvrdých řezných materiálů. [10]

Druh	Označení	Vlastnosti		Použití
		Hustota (g.cm-3)	Mikrotvrdost (HV)	
BN	PKBN	3,48	45	Soustružení a frézování kalených ocelových součástí. Obrábění bílé litiny (tvrdosti nad 50HRC), legované litiny, tvrdých návarů a stelitů
DP	PKD	3,5	90	Obrábění neželezných kovů (slitiny Al, Cu, Ti), keramických a plastických hmot s abrazivními plnidly, grafitu s abrazivními plnidly, pryže, kompozitních materiálů, laminovaných dřevotřísek. Soustružení, frézování, vrtání.

2.2 Dělení nástrojových ocelí podle použití

Z hlediska použití je možná nástrojové oceli dělit do různých skupin. Toto dělení odráží rozdílnost nároků, které jednotlivé druhy aplikací na nástrojové materiály kladou. Například oceli určené pro tváření za tepla musí vykazovat dobrou stabilitu vlastností zvýšených teplot, zatímco u ocelí pro měřidla bude hlavním požadavkem rozměrová stálost a odolnost proti opotřebení. [4]

Nástrojové oceli podle použití dělíme podle normy ČSN 42 0075: [4]

- NA - na řezné nástroje
- NB - na nástroje pro stříhání
- NC - na nástroje pro tváření (NCS- za studena, NCT- za tepla)
- ND - na formy
- NE - na nástroje pro drcení a mletí
- NF - na ruční nástroje a nářadí
- NG - na měřidla
- NH - na upínací nářadí

2.3 Strukturní složky nástrojových ocelí

Mikrostruktura nástrojových ocelí se skládá ze strukturních složek, jejichž přítomnost je závislá na druhu a způsobu tepelného zpracování konkrétního materiálu. Typicky je mikrostruktura tvořená martenzitem, zbytkovým austenitem a karbidy. [4]

2.3.1 Martenzit

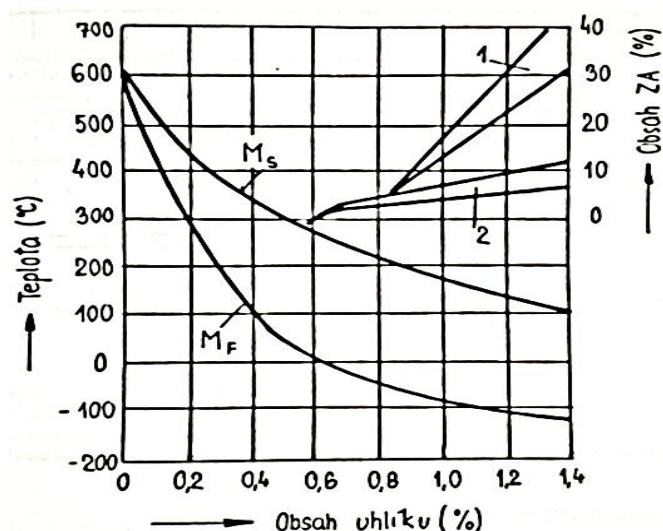
Martenzit (na obrázku 2.3) je požadovaná struktura v nástrojových ocelích. Martenzit je tvrdá, ale křehká struktura. Vzniká při martenzitickém kalení, bezdifúzní transformací z přechlazeného austenitu. Je to přesycený tuhý roztok uhlíku v železe alfa. Přesycení uhlíkem má za následek vysoká vnitřní pnutí v mřížce a ta způsobují vysokou tvrdost a pevnost martenzitu, ale zároveň extrémně roste napětí nutné pro pohyb dislokací a tak martenzit nevykazuje před lomem makroskopickou plastickou deformaci. [5], [2]



Obrázek 2.3: Mikrofotografie ukazující černý jehlicovitý martenzit a bílá místa zbytkový austenit [6]

2.3.2 Zbytkový austenit

Zbytkový austenit je nežádoucí struktura, protože je měkká. Množství austenitu závisí na množství uhlíku. Snižuje tvrdost. Zbytkový austenit je v materiálu stabilizován vysokými pnutími od martenzitu, kdy při transformaci na martenzit dochází k nárůstu objemu. Na obrázku 2.4 je vidět, že při zvyšování obsahu uhlíku v austenitu snižují teploty M_S a M_F . Teploty M_S a M_F snižují také některé legující prvky například mangan, nikl, kobalt apod. [4]



Obrázek 2.4: Vliv uhlíku na teplotu M_S a M_F a vliv kalících teplot na obsah zbytkového austenitu [2]

2.3.3 Karbidy

Karbidy (tabulka 2.8), které jsou ve struktuře, pomáhají zvýšit tvrdost u nástrojových ocelí. Karbidy mohou být ve struktuře přítomny jako primární, vzniklé již při tuhnutí taveniny, nebo jako sekundární, které se nerozpustily v průběhu austenitizace a nebo jako precipitací vytvoření částice v průběhu popouštěcích kroků tepelného zpracování. [2]

Tabulka 2.8: Druhy karbidů. [4]

Karbidy	Tvrdost[HV 0,1]	prvky (M)	Poznámka
M_3C	asi 950	Fe,(Fe,Cr)	Karbid cemetického typu, je relativně měkký
$M_{23}C_6$	1000-1100	Cr	Při ohřevu na kalící teplotu se zcela rozpustí, chrom přechází do tuhého roztoku a zvyšuje prokalitelnost oceli
M_6C	1200-1300	W	Při ohřevu na kalící teplotu se zčásti rozpustí, v austenitu, zčásti zůstává zachován a omezuje růst zrna austenitu.
M_7C_3	1600-1800	Cr	
M_2C	1700-1900	W, Mo	Precipituje ve struktuře při popouštění 500-600°C
MC (M_4C_3)	2200-3000	V	Jemné velmi tvrdé karbidy, které se při austenitizaci jen zčásti rozpustí a zabraňují zhrubnutí austenitického zrna. Dále precipitují ve struktuře při popouštění 500-600°C

2.4 Požadavky na nástrojové oceli

2.4.1 Tvrdost

Tvrdost je potřebná hlavně pro řezné nástroje. Tvrdost roste s rostoucím obsahem uhlíku asi do 0,8% C a pak nad 1% C se tvrdost moc nemění. Na druhou stranu vzrůstá množství cementitu, který zlepšuje odolnost proti opotřebení a řezivost. Tvrdost můžeme zvýšit pomocí přísadami karbidotvorných prvků, jako je chrom, vanad, wolfram, molybden a titan. [3]

2.4.2 Pevnost

Pevnost nástrojových ocelí závisí na: [2]

- Pevnosti základní matrice, kterou tvoří obvykle nízkopopouštěný martenzit a malé množství zbytkového austenitu.
- Množství, velikosti, tvaru a uspořádání karbidů.
- Pevnost snižují zbytky eutektického karbidického skeletu, řetízky sekundárních karbidů a karbidická řádkovitost.
- Směr namáhání. Nadeuktoidní a ledeburitické oceli mají nižší pevnost hlavně ve směru kolmém na směr tváření.
- Jakosti povrchu
- Pnutí
- Velikosti zrna. Čím větší zrno, tak klesají hodnoty pevnosti a meze kluzu.

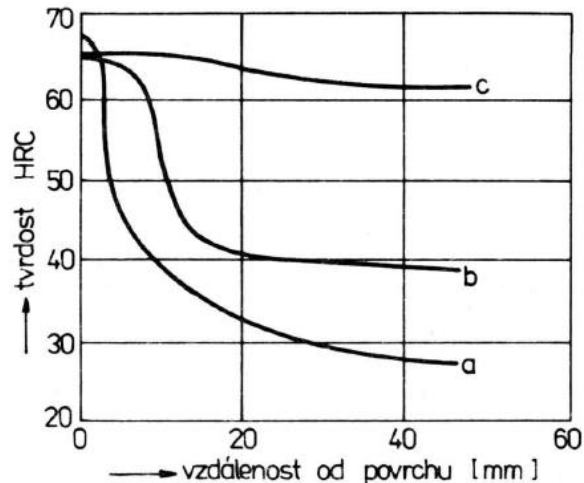
2.4.3 Houževnatost

Houževnatost závisí na chemickém složení, struktuře a její stejnosměrnosti, na velikosti zrna, přítomnosti nečistot a vměstků, tepelném zpracování. Nežádoucí je struktura s velkou karbidickou řádkovitostí, která způsobuje nestejnosměrné vlastnosti v příčném a podélném směru oceli. [3]

2.4.4 Kalitelnost a prokalitelnost

Kalitelnost je ochlazování materiálu z austenitizační teploty, spíše nízkouhlíkové oceli, kdy se musí dosáhnout v oceli martenzitické struktury. [1]

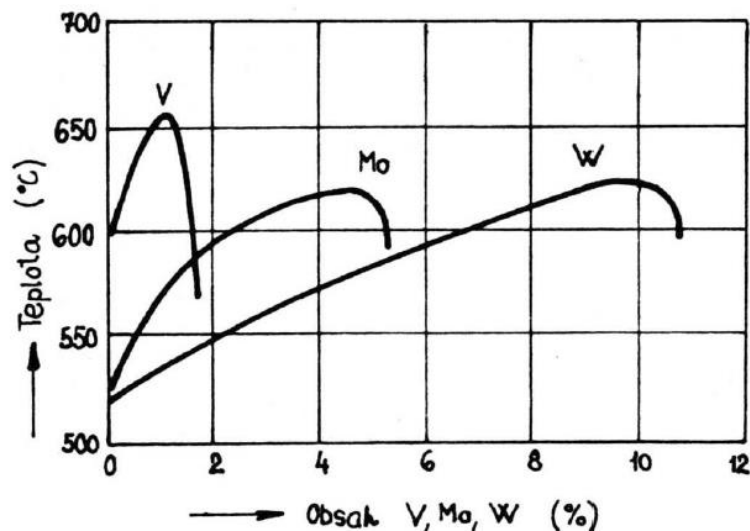
Prokalitelnost je schopnost oceli získat tvrdost po zakalení do určité hloubky od povrchu. Prokalitelnost můžeme zvýšit pomocí legujících prvků. Příklad prokalitelnosti u nástrojových ocelí na obrázku 2.5. [1]



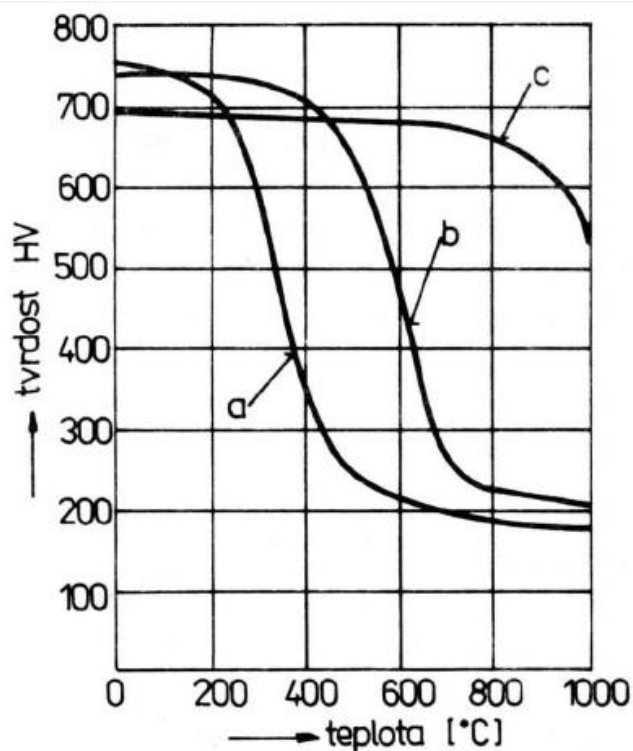
Obrázek 2.5: Křivky prokalitelnosti [4]: C105U (19 191) (a), 90MnCrV8 (19 313) (b), X210CrW12 (19 437) (c)

2.4.5 Odolnost proti popouštění

Odolnost proti popouštění je důležitá vlastnost pro nástroje pracující za tepla a pro řezné nástroje. Odolnost se posuzuje podle poklesu tvrdosti při dlouhodobém ohřevu materiálu při vyšších teplotách (na obrázku 2.7). Legováním karbidotvorných prvků se zvýší odolnost oceli proti popouštění (na obrázku 2.6). [1]



Obrázek 2.6: Vliv Vanadu (V), Molybdenu (Mo) a Wolframu (W) na odolnost proti popouštění u nástrojových ocelí [4]



Obrázek 2.7: Tvrdost nástrojových ocelí v závislosti na teplotě [4]: Nelegovaná ocel (a), Rychlořezná ocel (b), Slinutý karbid (c)

2.4.6 Odolnost proti otěru a otupení

Otěr ovlivňuje velikost opotřebení vlastně tím i řezivost (odolnost proti otupení) nástrojů. Odolnost proti otěru je ovlivňována množstvím, rozložením karbidů ve struktuře. Funkční části nástroje by měly mít odolnost proti popouštění. [4]

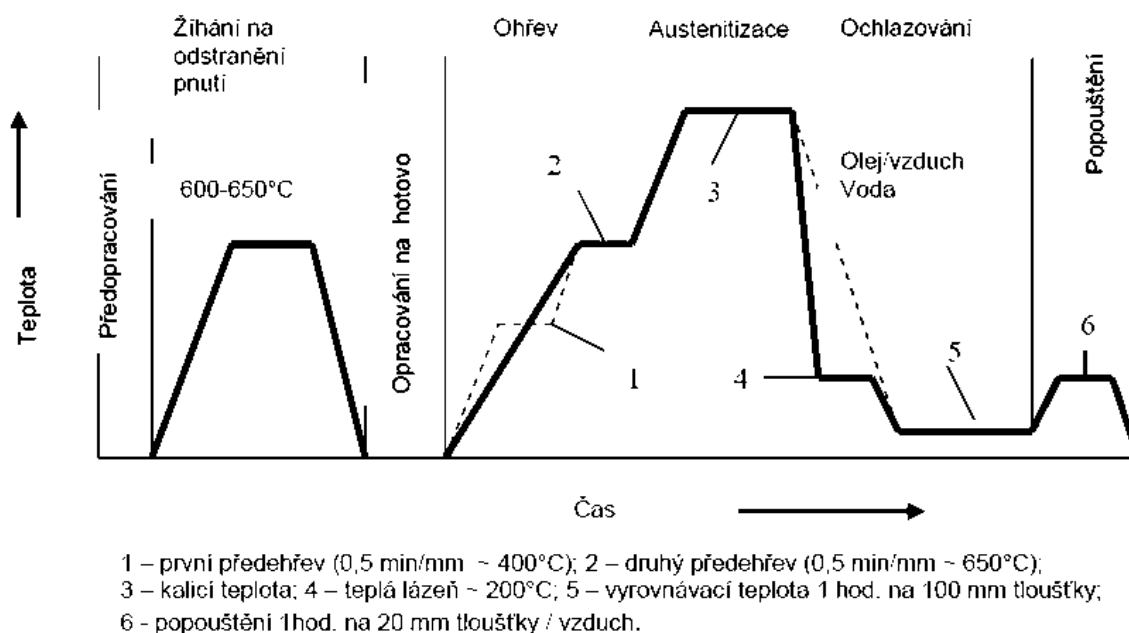
2.4.7 Stálost rozměrů

U nástrojů se požaduje, aby měly po tepelném zpracování co nejmenší rozměrové změny. [4]

3 Tepelné zpracování nástrojových ocelí

3.1 Nástrojové oceli uhlíkové a nízkolegované

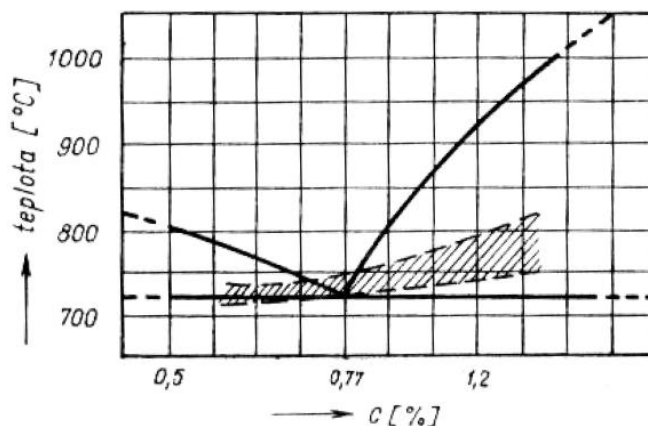
Nástrojové oceli uhlíkové a nízkolegované mají stejný způsob tepelného zpracování. Může se lišit pouze v teplotách ohřívání a ochlazování do různých prostředí. Základním tepelným zpracováním je žihání na odstranění vnitřního pnutí, austenitizace a poté popouštění. Orientační schéma tepelného zpracování nástrojové oceli uhlíkové a nízkolegované můžete vidět na obrázku 3.1. [11], [7]



Obrázek 3.1: Příklady postupů základního tepelného zpracování nástrojových ocelí uhlíkových a nízkolegovaných [7]

3.1.1 Žihání

Způsob tepelného zpracování, kdy je cílem dosáhnout nebo se přiblížit rovnovážnému stavu oceli. Materiál se ohřeje na žíhací teplotu, následuje výdrž na teplotě a pomalé ochlazení na vzduchu nebo v jiném prostředí. [11] Pásmo žíhacích teplot uhlíkových nástrojových ocelí na obrázku 3.2.



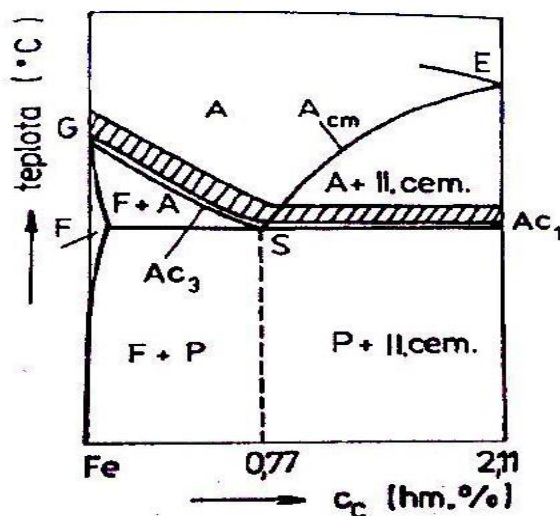
Obrázek 3.2. Rozmezí žíhacích teplot uhlíkových nástrojových ocelí [11]

3.1.2 Žihání na odstranění vnitřního pnutí

Žihání na snížení pnutí je tepelné zpracování, které slouží k odstranění vnitřního pnutí bez změny struktury získané předchozím mechanickým opracováním, tepelným zpracováním, svařováním nebo ztuhnutí odlitku ve formě. Vnitřní pnutí způsobuje pružnou deformaci mřížky, které jsou částečně odstraněny během prodlevy relaxací. Výrobky se ochlazují z žíhacích teplot pomalu (v peci) až na teplotu okolo 200°C a poté se dochladí na vzduchu, aby se zabránilo vzniku nových vnitřních pnutí. Výrobky se žíhají při teplotách 500 až 650°C s výdrží na teplotě několik hodin. Při zvolených vyšších teplotách žihání okolo 600 až 650°C. Stačí výdrž okolo 1 až 2h. [1],[3]

3.1.3 Kalení

Kalení uhlíkových a nízkolegovaných nástrojových ocelí se provádí podle pásma kalících teplot v diagramu Fe-Fe₃C na obrázku 3.3. Ohřívá se na kalící teplotu, poté je výdrž na kalící teplotě a nakonec se ochlazuje rychlostí, která je větší než kritická rychlost ochlazování. Kalící teplota podeutektoidních ocelí (uhlíkových) se pohybuje těsně nad křivkou A_{c3} v rozmezí 30-50°C, kdy struktura po zakalení je tvořená martenzit a feritem. Nadeutektoidní oceli (oceli, které obsahují karbidy legujících prvků) se kalí okolo 30°C-50°C na A_{c1}. Správně zakalená nadeutektoidní ocel je tvořená martenzitem s podílem austenitu a nerozpuštěného cementitu. Kalení nad teplotou A_{cm} se cementit rozpustí, což má za následek větší koncentraci uhlíku v austenitu a po zakalení větší obsah uhlíku v martenzitu s velkým podílem zbytkového austenitu. Tato struktura je nežádoucí. [1], [2]



Obrázek 3.3: Pásmo kalících teplot [1]

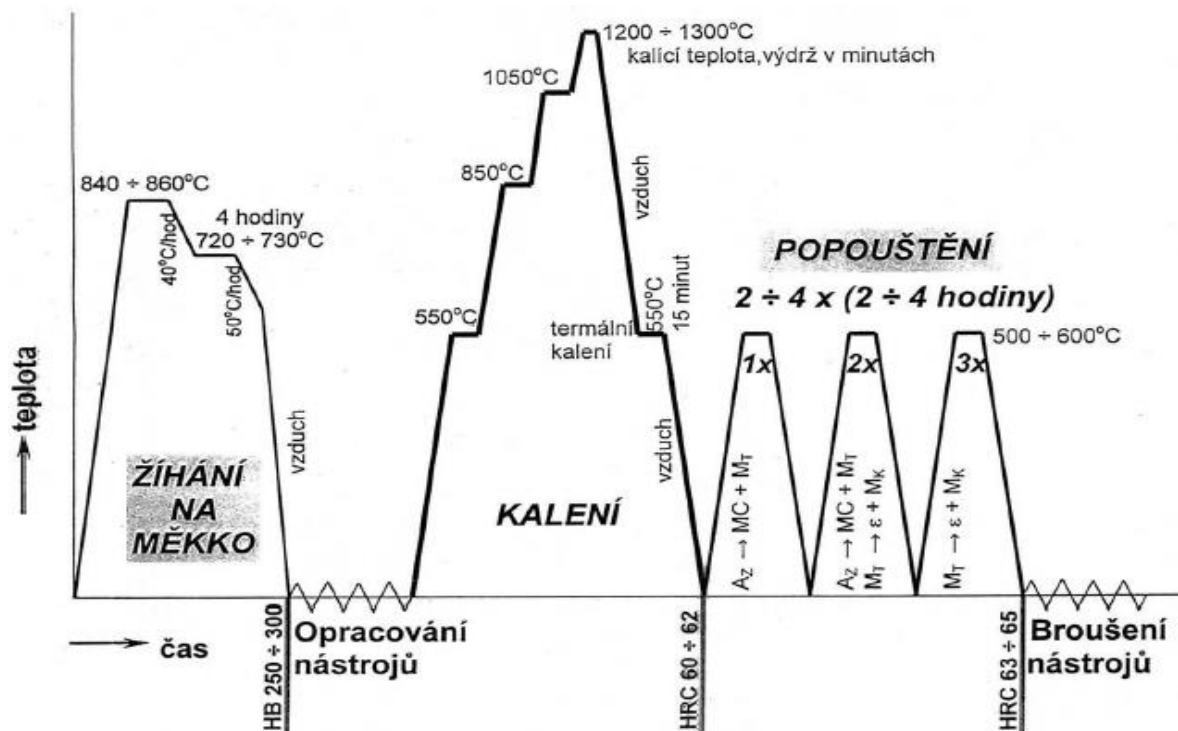
3.1.4 Popouštění

Uhlíkové a nízkolegované nástrojové oceli se popouští na primární tvrdost. Popouštěcí teplota je v rozmezí 150°C-350°C. Poté se materiál chladí na vzduchu nebo ve vodě. Do 200°C se mění tetragonální martenzit na kubický a nerovnovážný karbid ϵ (Fe_{2,4}C). Mezi teplotami 200°C-300°C se rozpadá zbytkový austenit. [8],[7]

3.2 Nástrojové rychlořezné oceli

Rychlořezné nástrojové oceli (RO) se liší od standardního tepelného zpracování nástrojových ocelí zejména v potřebné austenitizační teplotě a následném několikanásobném popouštění. Vysoká austenitizační teplota souvisí s nutností rozpustit v materiálu velkého množství karbidů a tak dosáhnout vysoce legovaného austenitu, který je následně zakalen. Vysoká austenitizační teplota sebou nese riziko hrubnutí zrna, proto je výdrž na ní jen v řádu jednotek sekund a minut. Dalším rizikem je ochlazení z vysokých teplot při kalení, které může způsobit praskání součástí. Několikanásobné popouštění je nutné pro umožnění precipitace speciálních karbidů a také transformaci vysokého podílu zbytkového austenitu. [4]

Orientační schéma tepelného zpracování nástrojových ocelí můžete vidět na obrázku 3.4



Obrázek 3.4: Schéma tepelného zpracování rychlořezných nástrojových ocelí [4]

3.2.1 Žihání na měkko

Je to žihání na měkko bez překrystalizace. Cílem je převést lamelární perlit na perlit globulární tj. základní feritická hmota s globulemi karbidů. Dojde ke snížení tvrdosti a ke zlepšení obrobitelnosti a tvářitelnosti oceli za studena. Zvětší se homogenizace struktury, což je vhodné pro kalení. U žihání na měkko se materiál ohřívá těsně pod překrystalizační teplotu A_{c1} (asi 780°C), výdrže na této teplotě a poté se ochlazuje řízeně v peci. [9], [1]

Oceli, které mají vyšší obsah slitinových prvků, snižují rychlost difúze uhlíku ve feritu nebo stabilizují cementit. Proto je potřeba prodloužit dobu žihání až na desítky hodin. Pokud je výchozí strukturou lamelární perlit a obsahuje větší množství slitinových prvků, tak je rychlost sferoidizace cementických lamel příliš malá. Potom se musí volit teploty žihání mírně nad teplotu přeměny (A_{c1}). Čím má ocel víc uhlíku a více je legovaná ocel, tím déle se karbidy rozpouštějí a proto bývá žihací teplota vyšší. Lze prodloužit průběh kolem teploty přeměny (A_{c1}). [9],[7]

3.2.2 Kalení rychlořezných ocelí

Účelem je ohřát materiál na kalící teplotu (austenitizace), výdrž na této teplotě a potom ochlazení rychlejší než kritická rychlost ochlazování. Základní strukturou po kalení je martenzitic-ká struktura. Rychlořezné nástrojové oceli se ohřívají na kalící teplotu pozvolně a rovnoměrně. Rychlořezné oceli a vysocелеgované oceli mají horší tepelnou vodivost a jsou citlivé na prudký ohřev. Proto se volí několika stupňový ohřev pro vyrovnání teplot jádra a povrchu. Tím se může zabránit vzniku trhlin a deformací při ohřevu. Rychlořezné oceli se ohřívají na vysokou teplotu (1100°C-1320°C), protože obsahují velké množství karbidotvorných prvků. Za vysokých teplot se dosáhne rozpuštění některých karbidů a dochází tak k nalegování základní hmoty uhlíkem a karbidotvornými prvky. Po dosažení kalící teploty je u rychlořezných materiálů krátká prodleva (80-180s). Není vhodné volit horní hranici kalící teploty a velkou prodlevu, protože to vede k růstu austenitického zrna a to způsobuje pokles houževnatosti ve struktuře. Po kalení se používá jako ochlazovací prostředí olej, vzduch, lázeň a termální lázeň. Teploty se pohybují okolo 500 až 550°C. [1], [7]

3.2.3 Popouštění

Rychlořezné nástroje můžeme popouštět na primární nebo sekundární tvrdost podle ochlazovacího prostředí po kalení.[4]

Primární popouštění je nízkoteplotní popouštění do 200°C. Cílem je přeměnit tetragonální martenzit na kubický a zbytkový austenit na martenzit kubický. Tvrdost oceli závisí na tvrdosti kubického martenzitu. [4]

Sekundární popouštění se pohybuje od 550°C-600°C. Při těchto teplotách dochází k transformaci zbytkového austenitu na martenzit a tím se zvyší tvrdost. [4]

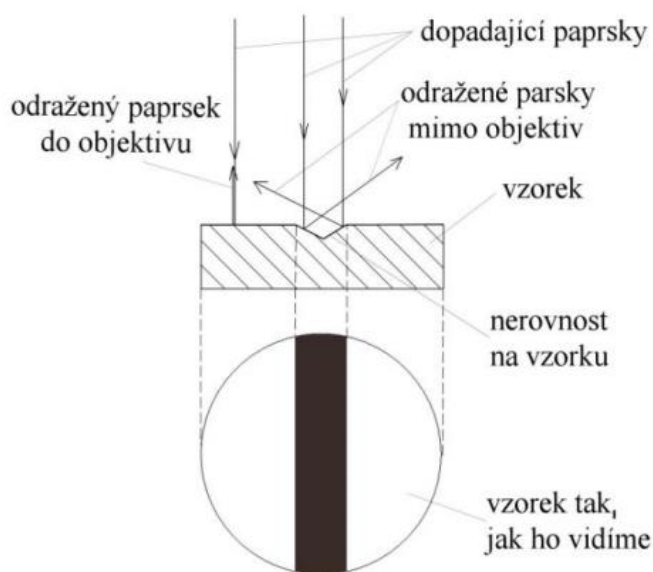
Cílem tepelného zpracování rychlořezných ocelí je získat jemnou disperzi karbidů v matici popouštěného martenzitu popřípadě ve feritické matici. Dalším cílem je dosáhnout požadované tvrdosti a požadovaných vlastností. [4]

4 Experimentální techniky

4.1 Světelná mikroskopie

Světelný mikroskop se skládá z osvětlovací části (zdroj světla, kondenzor, clona), mechanické části (podstavec, stojan a stolek s křížovým posuvem) a optické části - objektivů a okulárů. Připravené vzorky jsem pozoroval se zvětšením 1000x, pomocí světlého pole.[12]

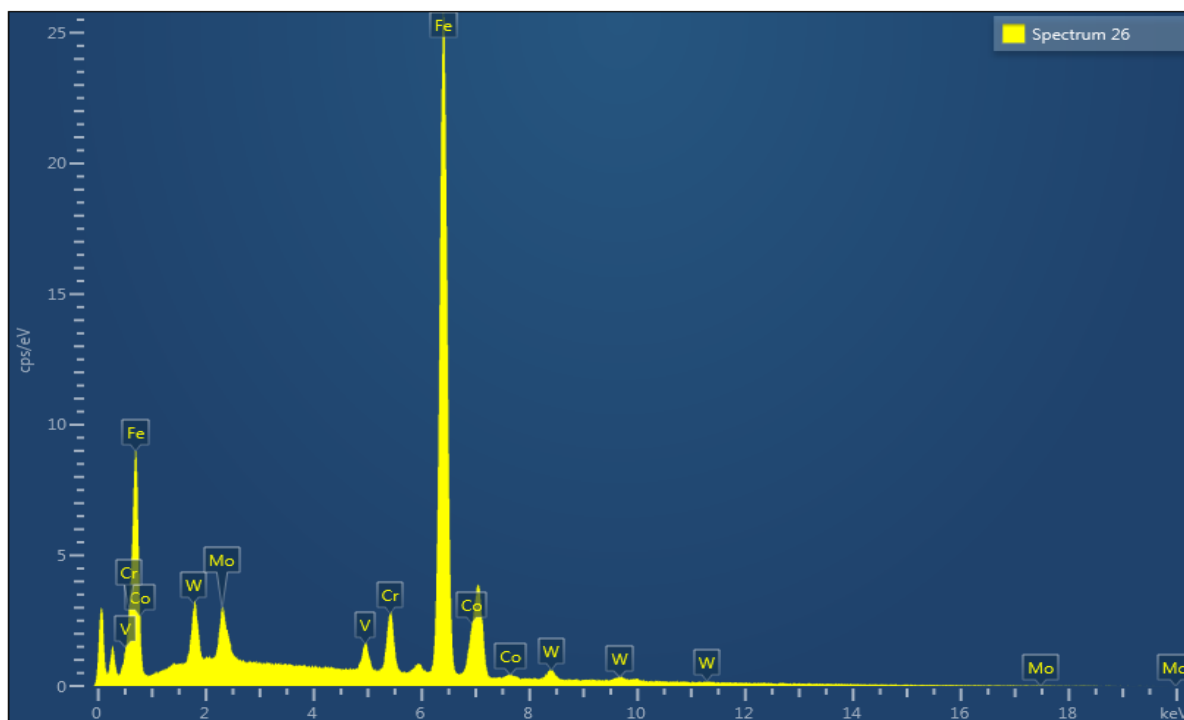
Světlé pole, je způsob pozorování, kdy osvětlíme vzorek světlem a následně pozorujeme. Když paprsek světla dopadne na rovinu vzorku, která je kolmá na optickou osu, odrazí se zpět do objektivu, tak pozorovaný vzorek vidíme jako světlý. Paprsky, které se neodrazí do objektivu, způsobí, že vidíme na vzorku tmavá místa. Princip na obrázku 4.1. [12]



Obrázek 4.1: Schéma metody světlého pole na odraz světla [15]

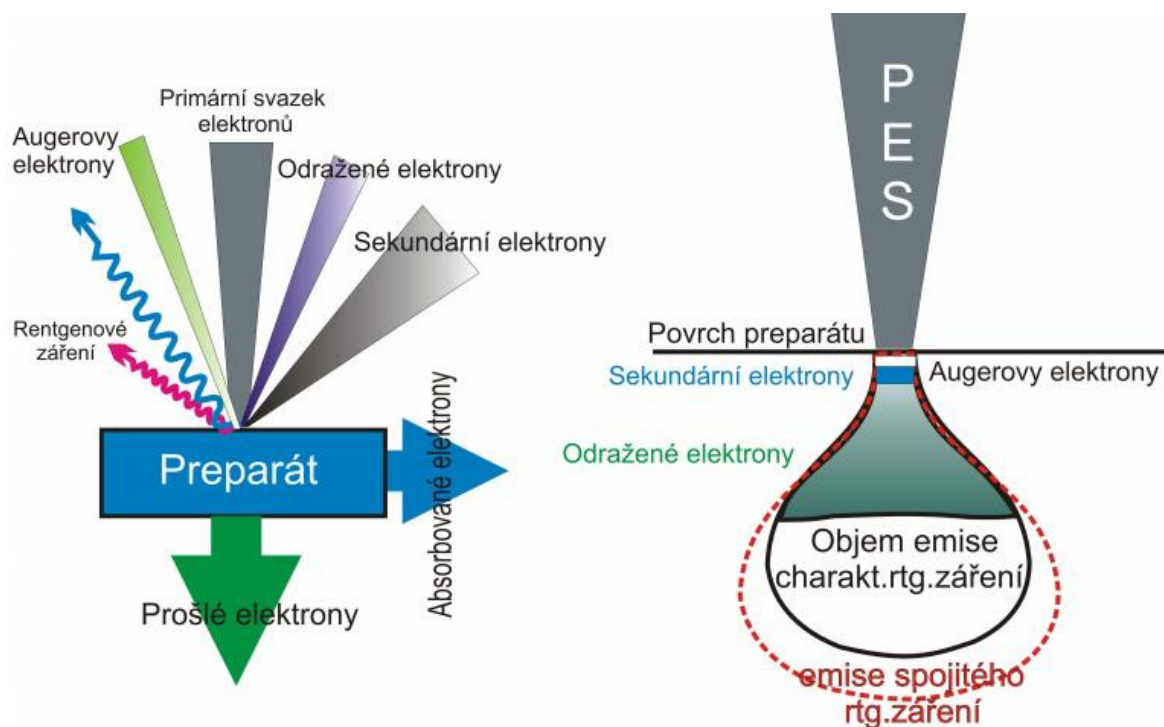
4.2 Elektronová mikroskopie a mikroanalýza

Pomocí elektronového mikroskopu jsem pozoroval struktury připravených vzorků (vrtáků). Zajímavá místa na struktuře byla podrobena mikroanalýze. Mikroanalýza využívá principu EDS (energie disperzní spektroskopie). EDS je rentgenové spektrum, které budí svazek primárních elektronů. Svazek primárních elektronů (PES) je snímán polovodičovým detektorem, kterým je obvykle monokrystal křemíku se stopovým množstvím lithia. Detektor snímá celé rentgenové spektrum všech prvků obsažených v analyzované oblasti současně a třídí fotony s různou energií příslušející jednotlivým prvkům. Fotony se za pomoci přídavného zdroje přeměňují v elektrický signál, který je po zesílení vyhodnocen v mnoho kanálovém analyzátoru a monitorován jako energiové spektrum (příklad na obrázku 4.2). [12],[14]



Obrázek 4.2 Příklad energiového spektra

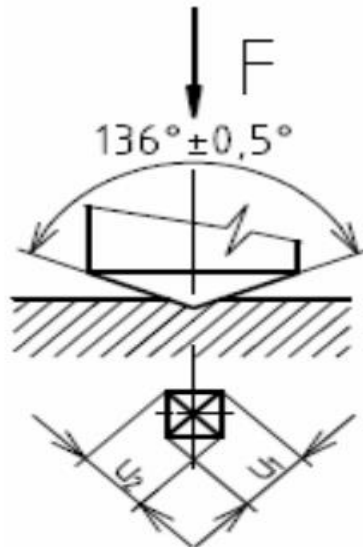
Pomocí EDS jsem zjišťoval chemické složení připravených vzorků. Chemické složení není úplné přesné, protože snímaná oblast je větší než například velikost karbidu. Princip na obrázku 4.3.



Obrázek 4.3: Princip energiově disperzní spektroskopie [12]

4.3 Měření tvrdosti

V laboratořích jsem měřil tvrdosti vzorků dle Vickerse. Vzorky byly zatěžovány po dobu 10 sekund a silou $F = 49,03 \text{ N}$ (stupeň tvrdosti HV 5). Poté jsem změřil uhlopříčky (u_2, u_1) pomocí mikroskopu. Následně tvrdoměr vyhodnotil tvrdosti vzorků podle Vickerse (HV) a Rockwella (HRC). Princip zkoušky dle Vickerse na obrázku 4.4.



Obrázek 4.4: Princip Vickersovi zkoušky [10]

4.4 Pec a ochlazovací prostředí

Pro experimentální část jsem použil elektrické komorové pece, kdy vzorky vrtáků byly vystaveny vysokým teplotám. Část vzorků byla zakalena a další část byla popuštěna v daných intervalech. Kalicí teploty u vzorků dosahovali až 1200°C , kde vydrželi na dané teplotě nějakou dobu. Poté vzorky byly zakaleny do vody nebo na vzduchu. Popouštěcí teploty dosahovali až 560°C , kde vydrželi na dané teplotě danou dobu. Poté byly vzorky ochlazovány na vzduchu.

4.5 Metalografická laboratoř

Vzorky na pozorování byly připravené následujícím postupem:

- Řezání vrtáků
- Zalévání vzorku do pryskyřice
- Zalisování vzorku
- Broušení vzorku
- Leštění
- Leptání

Bylo použito běžného metalografického vybavení - poloautomatického lisu LECO, brusek a leštiček LECO a STRUERS. Broušení probíhalo na SiC papírech, leštění na diamantových pastách až s použitím velikosti zrna 1 mikrometr. Připravené vyleštěné vzorky byly dále leptány leptadlem NITAL 5%.

5 Experimentální materiál

Použité experimentální materiály jsou vrtáky s označením na krabici:

- HSS-R DIN 338
- HSS-E Co

Na každém vrtáku zkoumáme dvě části řeznou a upínací. V řezné a upínací části jsou zkoumány chemické složení, tvrdost a struktura.

5.1 Vrták HSS-R DIN 338

Vrták s označením HSS-R DIN 338 jsou vrtáky určeny pro vrtání do legovaných a nelegovaných ocelí s pevností v tahu do 900N/mm^2 , šedé litiny, temperované litiny, neželezných kovů a tvrdých plastů. Vyznačuje se pružností, pevností v krutu a dlouhou životností.

5.1.1 Chemické složení

Chemické složení bylo zjištěno z připravených vzorku pomocí mikroanalýzy. Následně bylo chemické složení z mikroanalýzy porovnáváno s ocelmi v normách. Vrták s označením na krabici HSS-R DIN 338 je pravděpodobně nástrojová ocel 19 555. Chemické složení z dohledané normy a chemické složení z EDS viz tabulka 5.1.

Tabulka 5.1: Chemické složení vrtáku řezné a upínací části podle normy a EDS.

HSS-R DIN 338	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]	W [%]
EDS- řezná část		0,8	0,4	5,3	1,3	0,6	1,1
EDS-upínací část		0,8	0,3	5,5	1,2	0,7	1,1
Norma 19 555	0,3-0,4	0,8-1,2	0,2-0,5	4,8-5,8	1,1-1,6	0,2-0,4	1,1-1,5

5.1.2 Tvrdost vrtáku HSS-R DIN 338

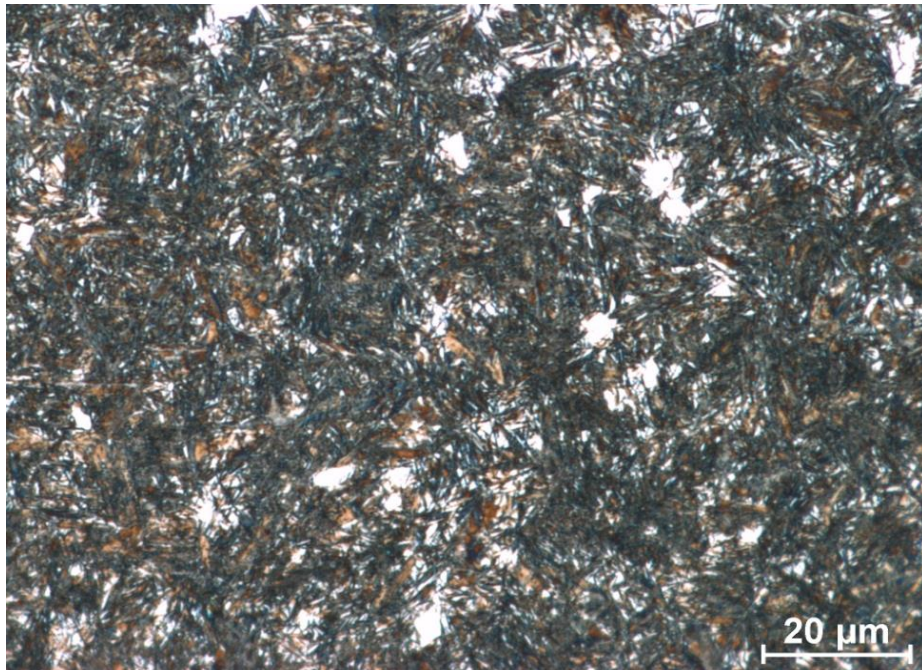
Norma uvádí (viz příloha A) minimální tvrdost 50 HRC. Naměřené tvrdost vzorku R0- řezná část je 63 HRC a R0- upínací část je 18 HRC. To znamená, že byla zakalena pouze řezná část.

5.1.3 Mikrostruktura

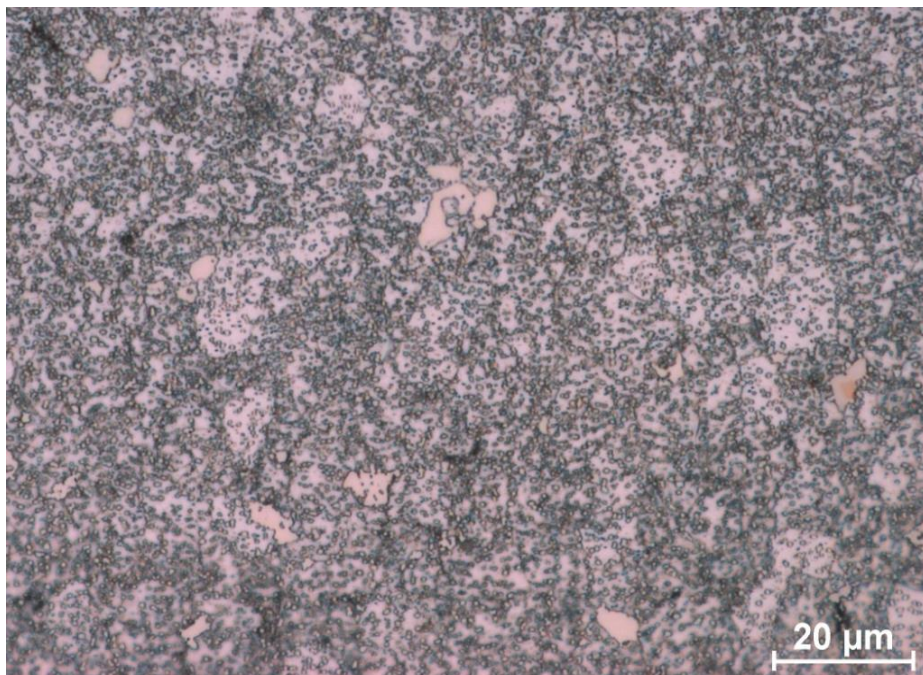
Na obrázku 5.1 je mikrostruktura tvořena jehlicemi martenzitu. Karbidy jsou pravděpodobně oranžová místa. Bílá velká místa jsou nerozpuštěné karbidy. Vyskytují se tam i malé karbidy. Okolo bílých karbidů jsou bílá místa zbytkového austenitu.

Na obrázku 5.2 je mikrostruktura tvořená jemnými karbidy a místy jsou velké nerozpuštěné karbidy, které mají žlutou až oranžovou barvu. Bílá část je ferit, který je velmi měkký.

a) Fotky vrtáků řezné a upínací části ze světelného mikroskopu

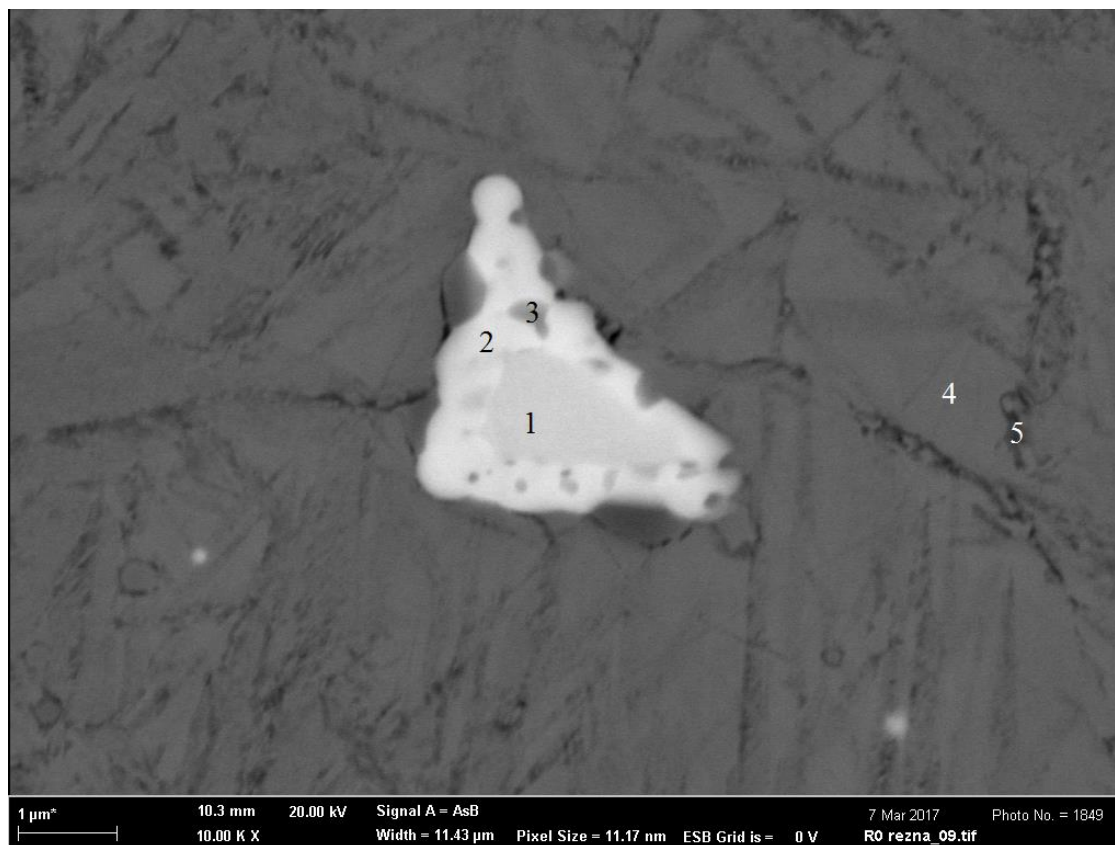


Obrázek 5.1: Mikrostruktura vrtáku HSS-R DIN 338: R0-řezná část-63HRC



Obrázek 5.2: Mikrostruktura vrtáku HSS-R DIN 338: R0-upínací část-18 HRC

b) Fotky vrtáků řezné a upínací části z elektronového mikroskopu

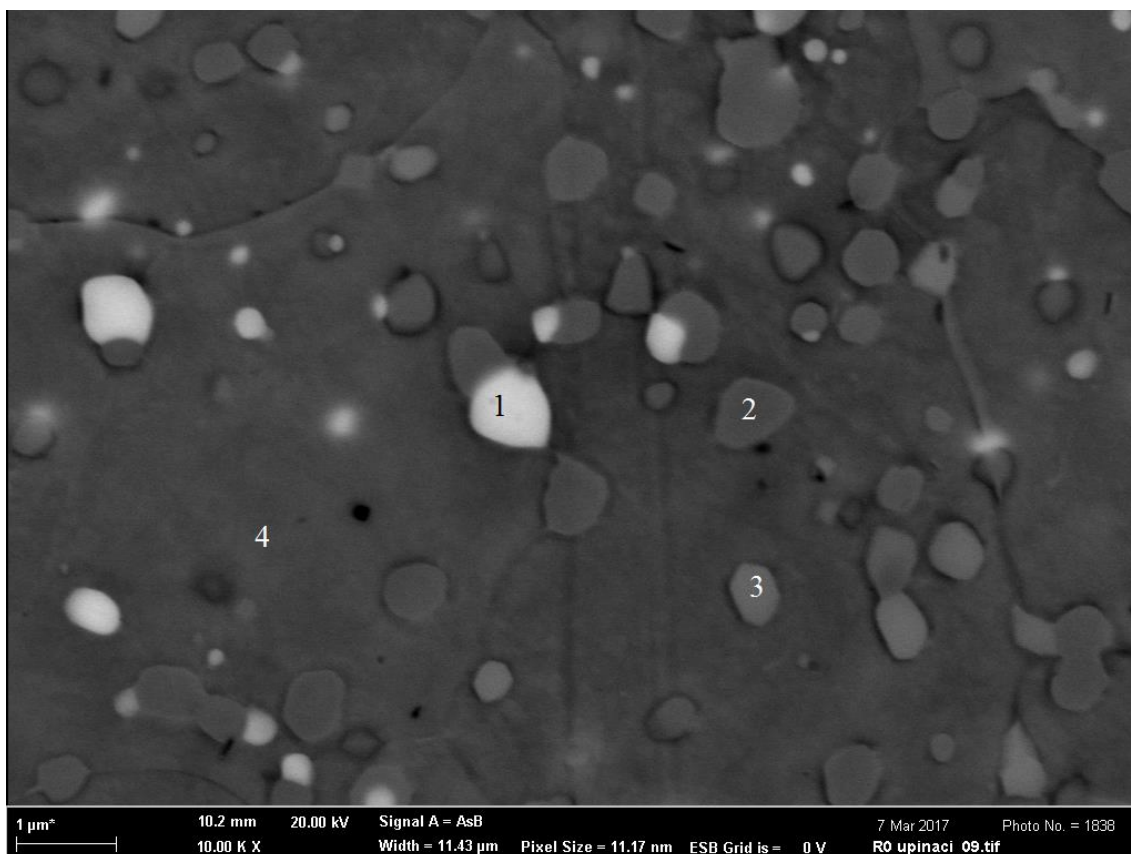


Obrázek 5.3: Mikrostruktura vrtáku HSS-R DIN 338: R0-řezná část

Na obrázku 5.3 je detail struktury vrtáku HSS-R DIN 338: R0-řezná část. Byla provedena řada měření lokálního chemického složení matrice i karbidu s heterogením chemickým složením. Jedná se o směsný W-Mo-Fe karbid s obsahem chromu a vanadu. Orientační chemické složení viz tabulka 5.2.

Tabulka 5.2: Chemické složení vrtáku HSS-R DIN 338: R0 řezné části.

	Chemické složení	Typ karbidu	Matrice
1	W 27,9%;Mo 38,5%;Fe15,3%;Cr 11,2%;V 7,1%	M ₂ C	
2	W 24,5%;Mo 28,9%;Fe 35,3%;Cr 7%;V 4,3%	M ₂ C	
3	W 18,8%;Mo 22%;Fe 40,2%;Cr 8,8%;V 6,3%;Si 0,7%	M ₂ C	
4	W 0,9%;Mo 1,5%;Fe 90,8%;Cr 5,3%;V 0,5%;Si 0,9%		Martenzit
5	W 1,2%;Mo 1,6%;Fe 90,3%;Mn 0,4%;Cr 5,3%;V 0,4%; Si 0,8%		Martenzit



Obrázek 5.4 Mikrostruktura vrtáku HSS-R DIN 338: R0 - upínací část

Na obrázku 5.4 struktura vrtáku HSS-R DIN 338: R0 - upínací část. Orientační chemické složení viz tabulka 5.3. Byly identifikovány dva druhy karbidů – W-Mo-Fe (světlé částice) a karbid na bázi železa s obsahem legujících prvků, pravděpodobně tedy cementit. Je nutno poznamenat že měřené chemické složení mohlo být ovlivněno složením matrice.

Tabulka 5.3: Chemické složení vrtáku HSS-R DIN 338: R0 upínací části.

	Chemické složení	Typ karbidu	Matrice
1	W 19,7%;Mo 21,5%;Fe 48,2%;Cr 4,7%;V 1,4%;Si 1,9%	M_2C	
2	W 0,7%;Mo 1,1%;Fe 85,1%;Cr 11,2%;V 1,3%;Si 0,5%	M_3C	
3	W 3,3%;Mo 1,9%;Fe 84,5%;Mn 0,6%;Cr 9%;V 0,3%;Si 0,4%	M_3C	
4	Mo 0,6%;Fe 91,6%;Cr 6%;V 1%		Ferit

5.2 Vrták HSS-E Co

Vrták s označením HSS-E Co jsou vrtáky určeny pro vrtání do kovu. Tyto vrtáky se vyrábí s obsahem kobaltu od 2% do 5% i třeba s 8%. Vrtáky tohoto typu se vyznačuje odolností vůči vysokým teplotám a opotřeбенí. Používá se pro vrtání legované a nelegované oceli do pevnosti v tahu 1000N/mm^2 , nerezové oceli, šedé litiny, ocelolitiny, oceli odolné vůči kyselinám a vysokým teplotám.

5.2.1 Chemické složení

Chemické složení bylo zjištěno z připravených vzorku pomocí mikroanalýzy. Následně bylo chemické složení z mikroanalýzy porovnáváno s oceli v normách. Vrták s označením na krabici HSS-E Co je s velkou pravděpodobností nástrojová ocel 19 852. Chemické složení z dohledané normy a chemické složení z EDS viz tabulka 5.4.

Tabulka 5.4: Chemické složení řezné a upínací části podle normy a EDS.

HSS-E Co	C[%]	Mn[%]	Cr[%]	Mo[%]	V[%]	W[%]	Co[%]
EDS-řezná část		0,3	4,2	4,6	1,8	6,7	4,9
EDS-upínací část		0,3	4,3	4,3	2,1	6	5
Norma 19 852	0,8-0,9	Max. 0,4	3,8-4,5	4,7-5,2	1,7-2,1	5,9-6,7	4,5-5

5.2.2 Tvrdost vrtáku HSS-E Co

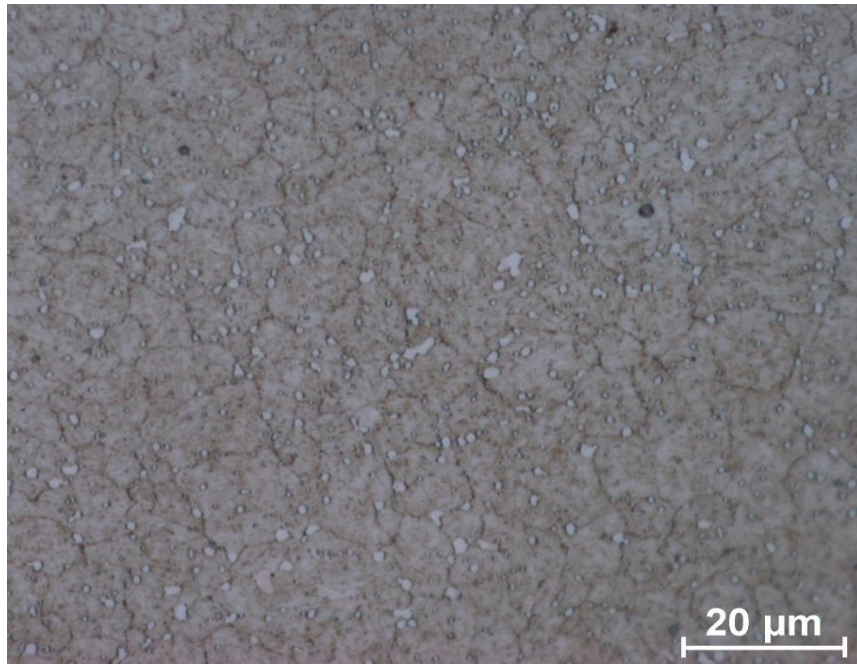
Norma uvádí (viz příloha B) minimální tvrdost 64 HRC. Naměřené tvrdosti vzorku C0- řezná část je 67 HRC a C0- upínací část je 24 HRC. To znamená, že byla zakalena a popouštěna pouze řezná část. Upínací zůstala pravděpodobně ve stavu po žíhání na měkko.

5.2.3 Mikrostruktura

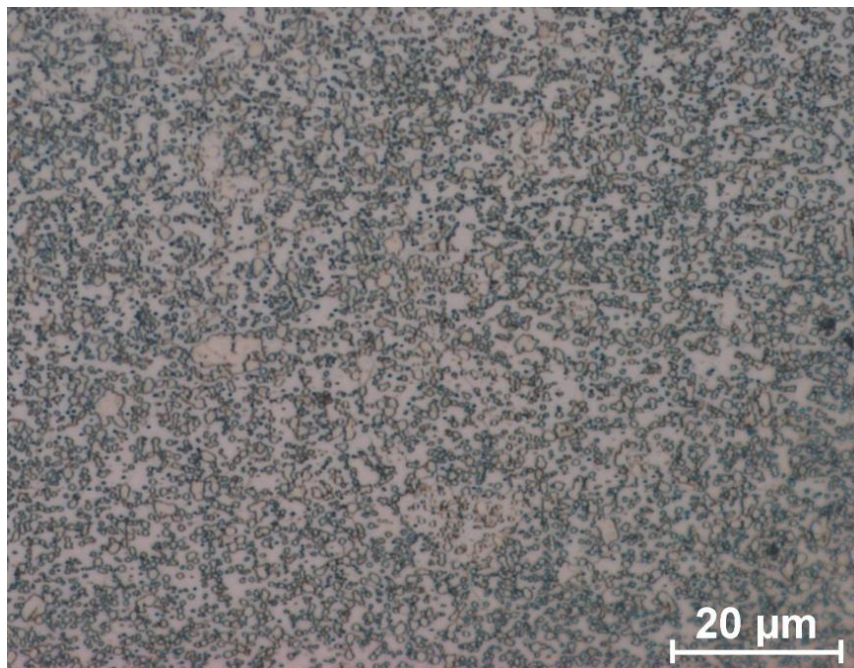
Na obrázku 5.5 je mikrostruktura tvořena patrnými zrny s vnitřní strukturou odpovídající martenzitu a výraznou populací karbidů. Karbidy s velkou četností jsou pravděpodobně světlé částice, které jsou malé a větší.

Na obrázku 5.6 je mikrostruktura tvořená mnoha jemnými karbidy, které mají žlutou až oranžovou barvu. Bílá část je ferit, který je velmi měkký.

a) fotky vrtáků řezné a upínací části ze světelného mikroskopu

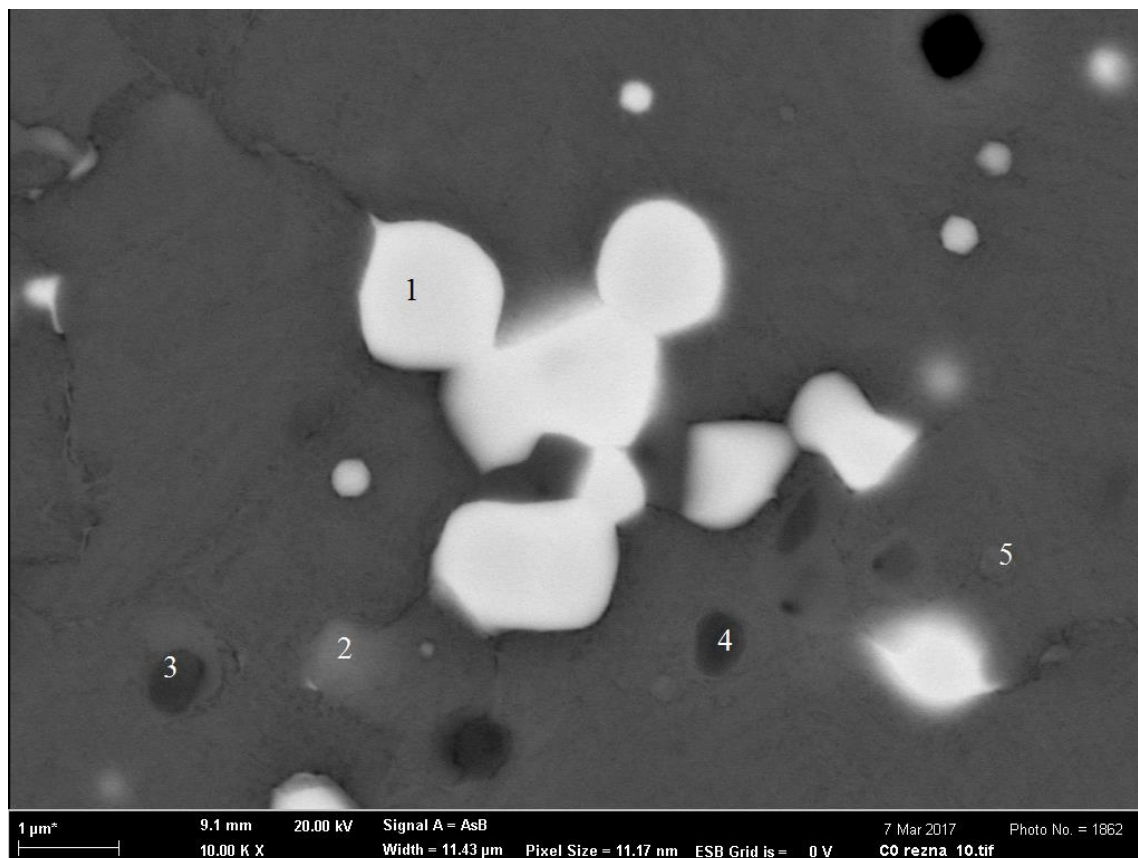


Obrázek 5.5: Mikrostruktura vrtáku HSS-E Co: C0-řezná část - 67 HRC



Obrázek 5.6: Mikrostruktura vrtáku HSS-E Co: C0-upínací část 24 HRC

b) Fotky vrtáků řezné a upínací části z elektronového mikroskopu

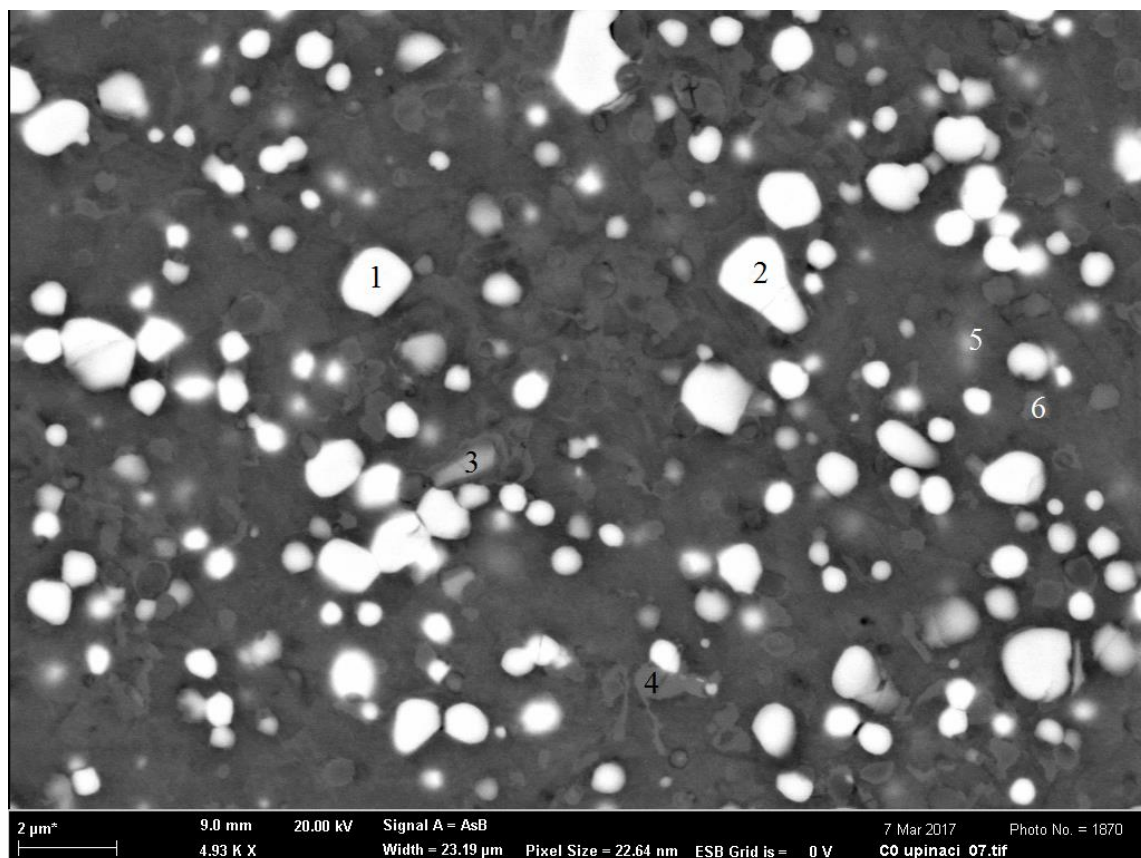


Obrázek 5.7: Mikrostruktura vrtáku HSS-E Co: C0 - řezná část

Na obrázku 5.7 struktura vrtáku HSS-E Co: C0 - řezná část. Orientační chemické složení viz tabulka 5.5. Na obrázku je možné dle úrovně šedi identifikovat tři různé druhy karbidů, v analýze odpovídají místům 1, 2, 3 a 4. Z hlediska chemického složení je patrné, že velké světlé karbidy jsou W-Mo-Fe fáze s obsahem Cr, V a Co, středně šedé částice označená číslem 2 vykazuje vyšší obsah molybdenu a tmavé částice 3 a 4 zvýšený obsah molybdenu a vanadu vždy ve srovnání s měřením složení matrice. Vzhledem k velmi malým rozměrům pozorovaných karbidů je naměřené chemické složení ovlivněno složením matrice.

Tabulka 5.5: Chemické složení vrtáku HSS -E Co: C0 -řezná část.

	Chemické složení	Typ karbidu	Matrice
1	W 31,5%;Mo 22,7%;Fe 35,1%;Cr 3,4%;V 3,1%;Co 2,4%	M ₂ C	
2	W 13,8%;Mo 8%;Fe 67,7%;Cr 4,1%;V 2%;Co 4,3%	M ₂ C/M ₃ C	
3	W 10,4%;Mo 8,5%;Fe 53,2%;Cr 4,8%;V 19,8%;Co 3,4%	M ₄ C ₃	
4	W 6,6%;Mo 6,6%;Fe 67%;Cr 4,5%;V 10,8%;Co 4,4%; Mn 0,3%	M ₄ C ₃	
5	W 6,5%;Mo 5%;Fe 77,5%;Cr 4,1%;V 2%;Co 4,8%		Ferit/ popuštěný martenzit



Obrázek 5.8: Mikrostruktura vrtáku HSS-E Co: C0 - upínací část

Na obrázku 5.8 struktura vrtáku HSS-E Co: C0 - upínací část. Orientační chemické složení viz tabulka 5.6. Spolehlivé měření bylo možné udělat u částic č 1 a 2, kde se jedná o karbidy W-Mo-Fe s obsahem chromu, vanadu a kobaltu. U všech ostatních částic jsou měření ovlivněna okolní maticí. Částice 3 a 5 mají zvýšený obsah molybdenu, částice 4 má zvýšený obsah chromu.

Tabulka 5.6: Chemického složení vrtáku HSS-E Co: C0-upínací část.

	Chemické složení	Typ karbidu	Matrice
1	W 30,9%;Mo 23,3%;Fe 35,9%;Cr 4,3%;V 3,1%;Co 2,5%	M_2C	
2	W 33%;Mo 22,3%;Fe 34%;Cr 4,1%;V 2,6%;Co 2,4%	M_2C	
3	W 21,5%;Mo 16,53%;Fe 25,3%;Cr 4,7%;V 30,5%;Co 1,5%	M_4C_3	
4	W 4,2%;Mo 3,7%;Fe 71,8%;Cr 14,7%;V 1,1%;Co 3,8%;Mn 0,6%	$M_{23}C_6$	
5	W 9,66%;Mo 5,7%;Fe 74,7%;Cr 3,9%;V 1,1%;Co 4,8%	$M_{23}C_6$	
6	W 2,9%;Mo 2,5%;Fe 77,6%;Cr 10,3%;V 2,3%;Co 4,6%		Ferit

6 Návrh tepelného zpracování a výsledky experimentů

6.1 Tepelné zpracování vrtáku HSS-R DIN 338

Návrh tepelného zpracování vychází z informací v normě pro materiál 19 555 (viz příloha A), výtah důležitých parametrů je uveden v tabulce 6.1.

Tabulka 6.1: Hodnoty vrtáku HSS-R DIN 338 (19 555) z norem.

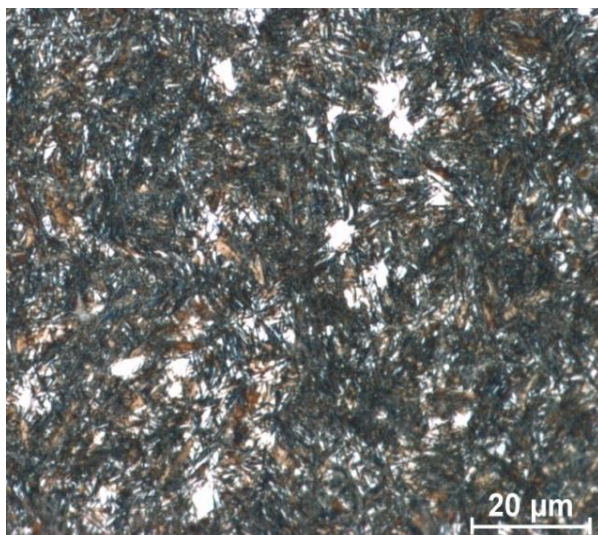
	Hodnoty vrtáku HSS-R DIN 338 (19 555)						
Chemické složení	C [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]	W [%]	Si [%]
	0,3-0,4	0,2-0,5	4,8-5,8	1,1-1,6	0,2-0,4	1,1-1,5	0,8-1,2
Tepelné zpracování	Kalení 1000-1050°C/ochlazování na vzduchu, Popouštění 500°C-650°C						
Tvrdost	minimálně 50 HRC						

Z vrtáku byly připraveny vzorky z upínací a řezní části. Vzorky byly označeny R0, R1, R2, R3, R4, R5. Upínací část je dle provedených analýz tepelně zpracována žháním na měkko, bylo tedy zvoleno kalení s cílem dosáhnout v materiálu primární tvrdosti od martenzitu. Vzorky z řezné části byly dle analýzy tepelně zpracované kalením s cílem dosáhnout martenzitu. Tyto vzorky byly podrobeny popouštění jedenkrát a dvakrát po patnácti minutách s cílem přeměnit zbytkový austenit na martenzit a tím zvýšit tvrdost. Navržené hodnoty tepelného zpracování pro vzorky v tabulce 6.2.

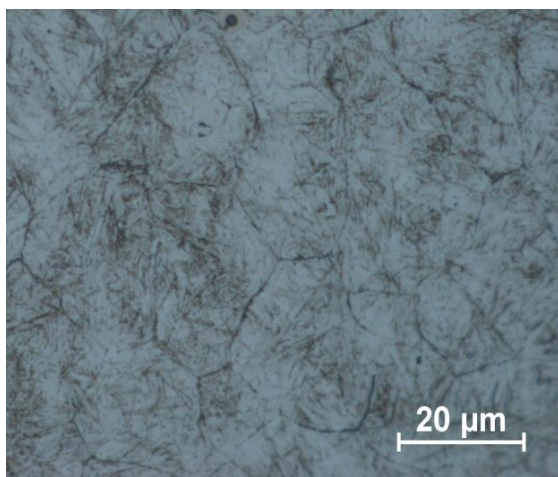
Tabulka 6.2: Navržené hodnoty tepelného zpracování a výsledné změřené hodnoty tvrdosti.

HSS-R- DIN 338	Tepelné zpracování	Původní stav	Tvrdost (HRC)
R0	Původní stav	Upínací	18
R0	Původní stav	Řezná	63
R1	Kalení 1050°C/10min/Vzduch	Upínací	67
R2	Popouštění 560°C/15minx1	Řezná	62
R3	Popouštění 560°C/15minx2	Řezná	62
R4	Kalení 1050°C/25min/Vzduch	Řezná	65
R5	Kalení 1050°C/10min/Voda	Upínací	69

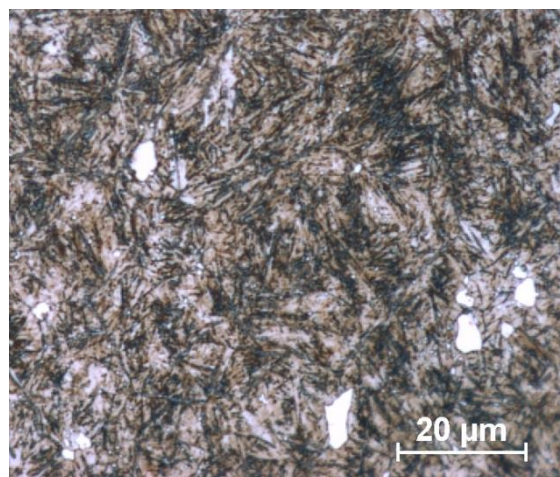
U řezných částí (obrázky 6.2 a 6.3) popouštění způsobilo částečné popouštění martenzitu, také je vidět že se nepatrně snížila tvrdost z 63 HRC na 62 HRC. Struktura také obsahuje velká bílá místa nerozpuštěných karbidů a velké malé množství bílých karbidů. A kalení u řezných částí způsobila dlouhá výdrž zvětšení austenitického zrna. U upínací části (obrázky 6.4, 6.6 a 6.7) kalení způsobilo zvětšení austenitického zrna, který obsahuje martenzit. Struktura obsahuje malé bílé karbidy i velké bílé nerozpuštěné karbidy. Chladit z austenitizační teploty je vhodnější na vzduchu než do vody. Kalení do vody zvýšilo výrazně tvrdost, chlazení do vody způsobilo prasklinu, která se pravděpodobně šířila po hranicích austenitických zrn.



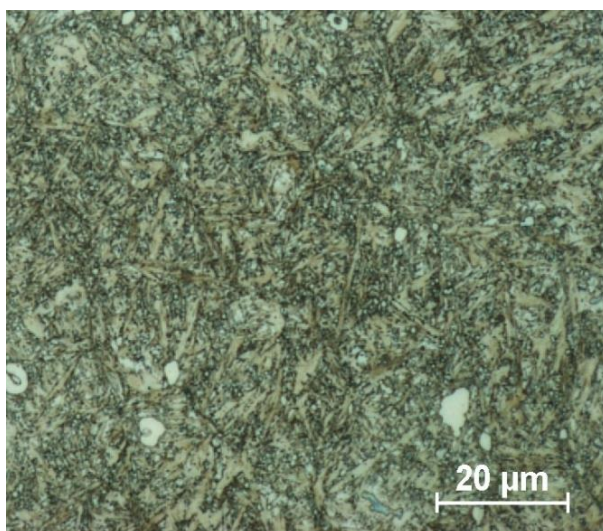
Obrázek 6.1: Mikrostruktura vzorku: R0-řezná část-63HRC



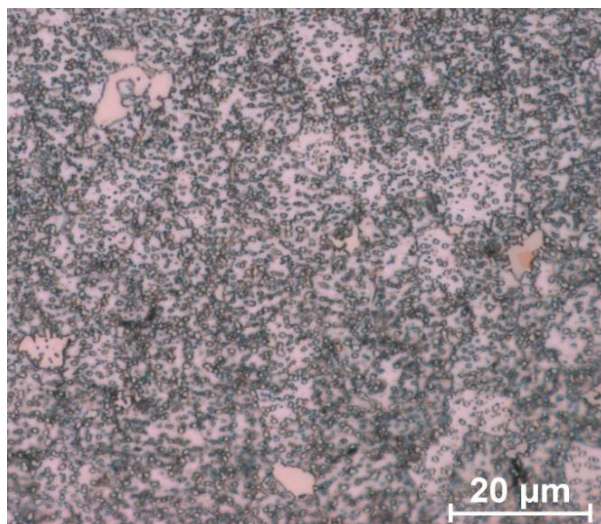
Obrázek 6.2: Mikrostruktura vzorku:
R2-řezná-popouštění 560°C/15min × 1-
62 HRC



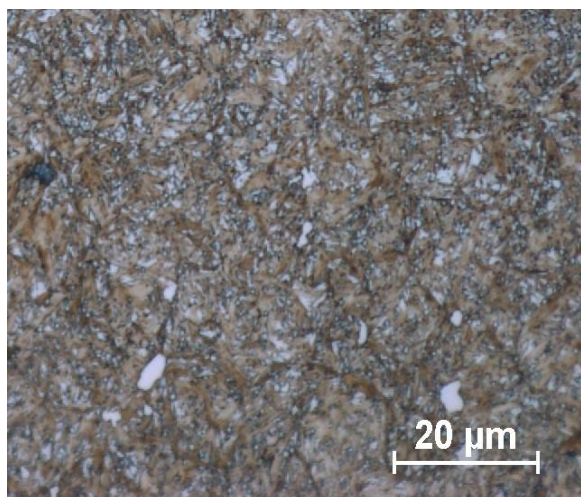
Obrázek 6.3: Mikrostruktura vzorku:
R3-řezná-popouštění 560°C/15min × 2-
62 HRC



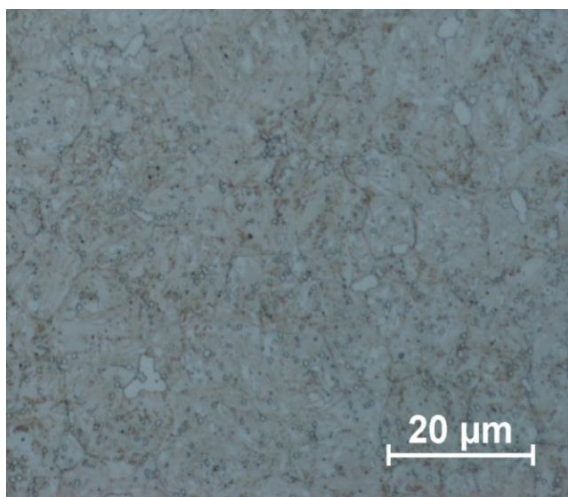
Obrázek 6.4: Mikrostruktura vzorku: R4-řezná-kalení 1050°C/25min/
vzduch-65 HRC



Obrázek 6.5: Mikrostruktura vzorku: R0-upínací část-18 HRC



Obrázek 6.6: Mikrostruktura vzorku:
R1-upínací-kalení 1050°C/10min/vzduch-
67 HRC



Obrázek 6.7: Mikrostruktura vzorku:
R5-upínací-kalení 1050°C/10min/voda-
69 HRC

6.2 Tepelné zpracování vrtáku HSS-E Co

Návrh tepelného zpracování vychází z informací v normě pro materiál 19852 (viz Příloha B), výtah důležitých parametrů je uveden v tabulce 6.3.

Tabulka 6.3: Hodnoty vrtáku HSS-E Co (19 852) z norem.

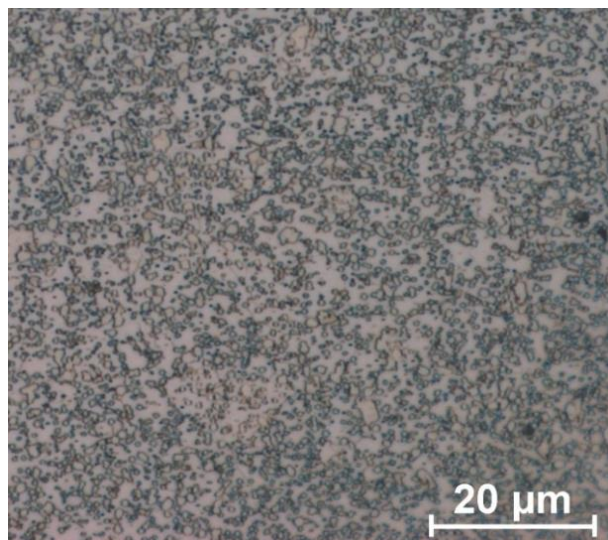
	Hodnoty vrtáku HSS-E Co (19 852)							
Chemické složení	C [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]	W [%]	Co [%]	Si [%]
	0,8-0,9	max. 0,4	3,8-4,5	4,7-5,2	1,7-2,1	5,9-6,7	4,5-5	max. 0,45
Tepelné zpracování	Kalení 1200-1220°C/ochlazování na vzduchu, v plynu nebo solné lázni Popouštění 550°C-570°C							
Tvrdost	minimálně 64 HRC							

Z vrtáku byly připraveny vzory z upínací a řezní části. Vzorky byly označeny C0, C1, C2, C3, C4, C5. Upínací část je dle provedených analýz tepelně zpracována žháním na měkko, bylo tedy zvoleno kalení s cílem dosáhnout v materiálu primární tvrdosti od martenzitu. Vzorky z řezné části byly dle analýzy tepelně zpracované na tvrdost a pravděpodobně popouštěno. Tento vzorek byl podroben dalšímu popouštění s cílem ověřit vývoj tvrdosti a tak odolnost materiálu proti vysokým teplotám. Navržené hodnoty tepelného zpracování pro vzorky v tabulce 6.4.

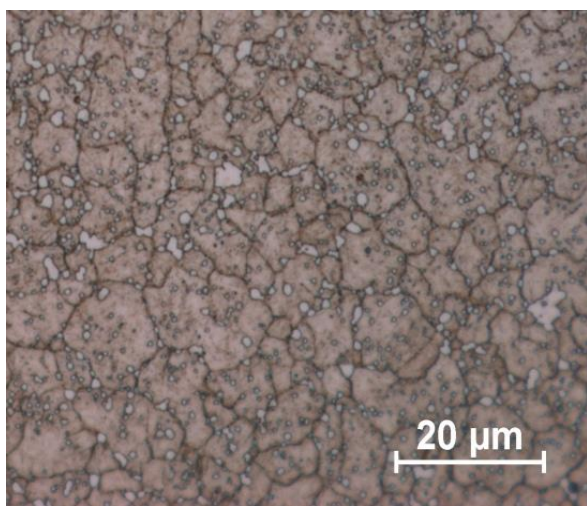
Tabulka 6.4: Navržené hodnoty tepelného zpracování a výsledné změřené hodnoty.

HSS-E Co	Tepelné zpracování	Původní stav	Tvrdost (HRC)
C0	Původní stav	Upínací	23
C0	Původní stav	Řezná	67
C1	Kalení 1200°C/3 min/Vzduch	Upínací	63
C2	Popouštění 560°C/15minx1	Řezná	68
C3	Popouštění 560°C/15minx2	Řezná	67
C4	Kalení 1200°C/25min/Vzduch	Upínací	64
C5	Kalení 1200°C/3 min/Voda	Upínací	67

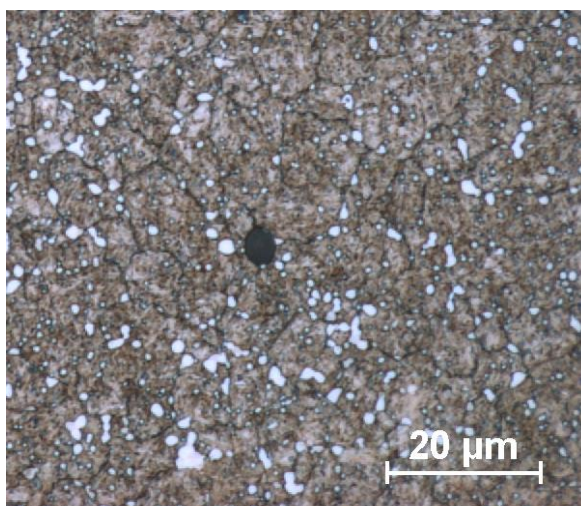
Mikrostruktura kalených vzorků (obrázky 6.9, 6.10 a 6.11) je tvořena nerozpuštěnými karbidy a malými karbidy. Struktura po kratší době na austenitizační teplotě má jemnější karbidy než struktura na delší austenitizační teplotě. U všech případů po kalení jde vidět hranice austenitických zrn, která je tvořena martenzitem. Kalení do vody mělo za následek popraskání vzorku. Trhlina se šířila pravděpodobně po hranicích austenitických zrn. U popouštěných vzorků (obrázky 6.13 a 6.14) jde vidět hranice austenitických zrn. Austenitická zrna budou obsahovat martenzit. Dále lze vidět větší nerozpuštěné karbidy a hodně malých karbidů. U popouštěných vzorků oproti původnímu vzorku jsou změny velice malé, tím můžeme říct, že vrták vydrží pracovat při vysokých teplotách až dvakrát patnáct minut. Kdybychom chtěli dosáhnout změny ve struktuře, stačilo by dát delší časy na popouštěcí teplotě, než bylo v experimentu.



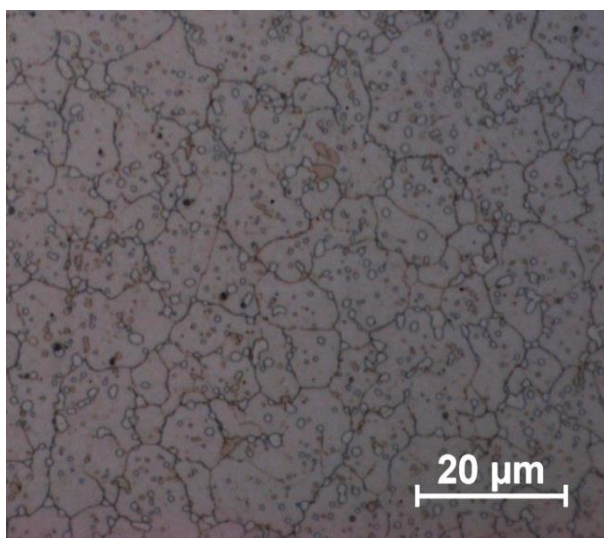
Obrázek 6.8: Mikrostruktura vzorku: C0-upínací část-23HRC



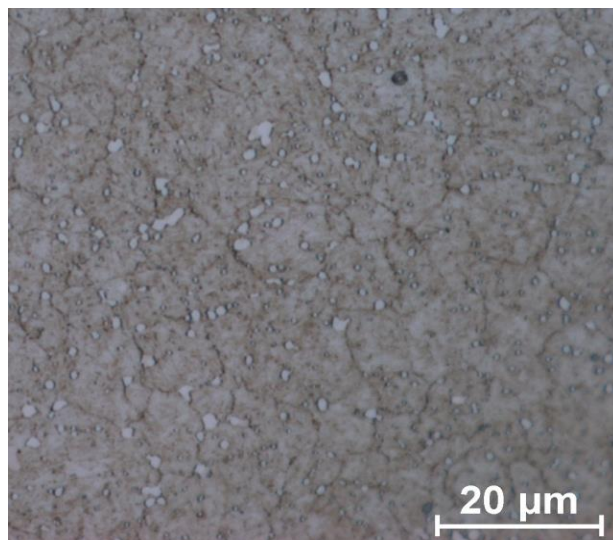
Obrázek 6.9: Mikrostruktura vzorku:
C1-upínací-kalení 1200°C/3min/vzduch-
63 HRC



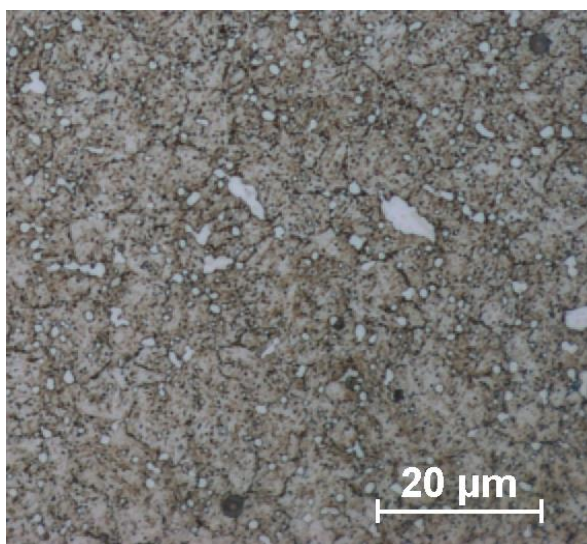
Obrázek 6.10: Mikrostruktura vzorku:
C4-upínací-kalení 1200°C/25min/vzduch-
64 HRC



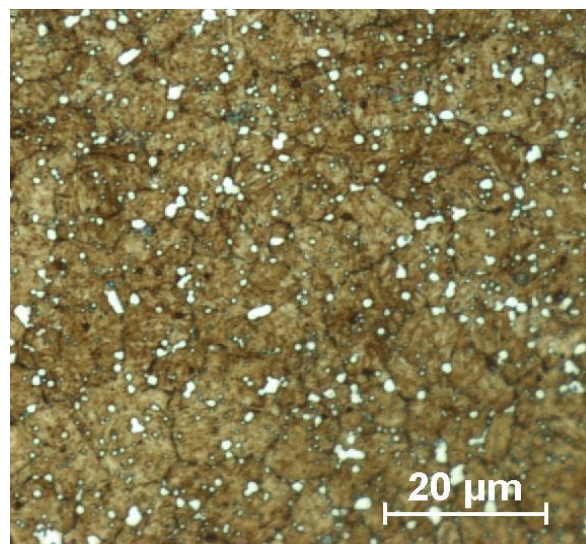
Obrázek 6.11: Mikrostruktura vzorku: C5-upínací kalení 1200°C/3min/voda-67 HRC



Obrázek 6.12: Mikrostruktura vzorku: C0-řezná část-67 HRC



Obrázek 6.13: Mikrostruktura vzorku:
C2-řezná popouštění 560°C/15min × 1-
68 HRC



Obrázek 6.14: Mikrostruktura vzorku:
C2-řezná popouštění 560°C/15min × 2-
67 HRC

7 Diskuze

Kalení obou sad vzorků mělo za následek zvýšení tvrdosti na úroveň 63-69 HRC, došlo tedy k austenitizaci a následné martenzitické transformaci. Mikrostruktura všech vzorků je tvořena martenzitem a karbidy. Naměřené tvrdosti všech vzorků i ve srovnání s původními hodnotami viz tabulka 7.1 a 7.2. Bylo dosaženo hodnot odpovídajících, nebo mírně vyšších než byla hodnota tvrdosti řezné části vrtáků, která pravděpodobně prošla kompletním cyklem zušlechťování včetně popouštění.

Výrazný efekt změny objemu a vzniku vnitřních pnutí od tepelné roztažnosti a strukturního pnutí od martenzitické přeměny je patrný na vzorku R5 a C5, který byl kalený přímo z austenitizační teploty do vody a došlo v něm ke vzniku trhlin. Tomuto chování se v praxi předchází použitím lomeného kalení nebo kalení s přichlazením, kde je umožněno vyrovnání tepelných i strukturních pnutí v materiálu. Trhlina ve vzorku C5 viz obrázek 7.1.

Popouštění nemělo zásadní vliv na změnu tvrdosti nebo mikrostruktury vzorků odebraných z řezných částí vrtáků. Vzorky mají stejnou nebo podobnou hodnotu tvrdosti jako původní stavy vrtáků. Tvrdosti po popouštění viz tabulka 7.1 a 7.2. Změny ve struktuře také jsou nepatrné. Větší změny by mohly nastat při delší výdrži na popouštěcí teplotě, než bylo v experimentu. Závěrem, který je možno udělat z provedených popouštěcích experimentů je zjištění, že materiál obou vrtáků je velmi dobře odolný proti popouštění v oblasti 560°C po dobu řádově desítky minut. Zahřívání vrtáku při vrtání obrobku bez chladicí kapaliny by tedy v zásadě nemělo znamenat okamžitou degradaci vlastností (zejména tvrdosti).

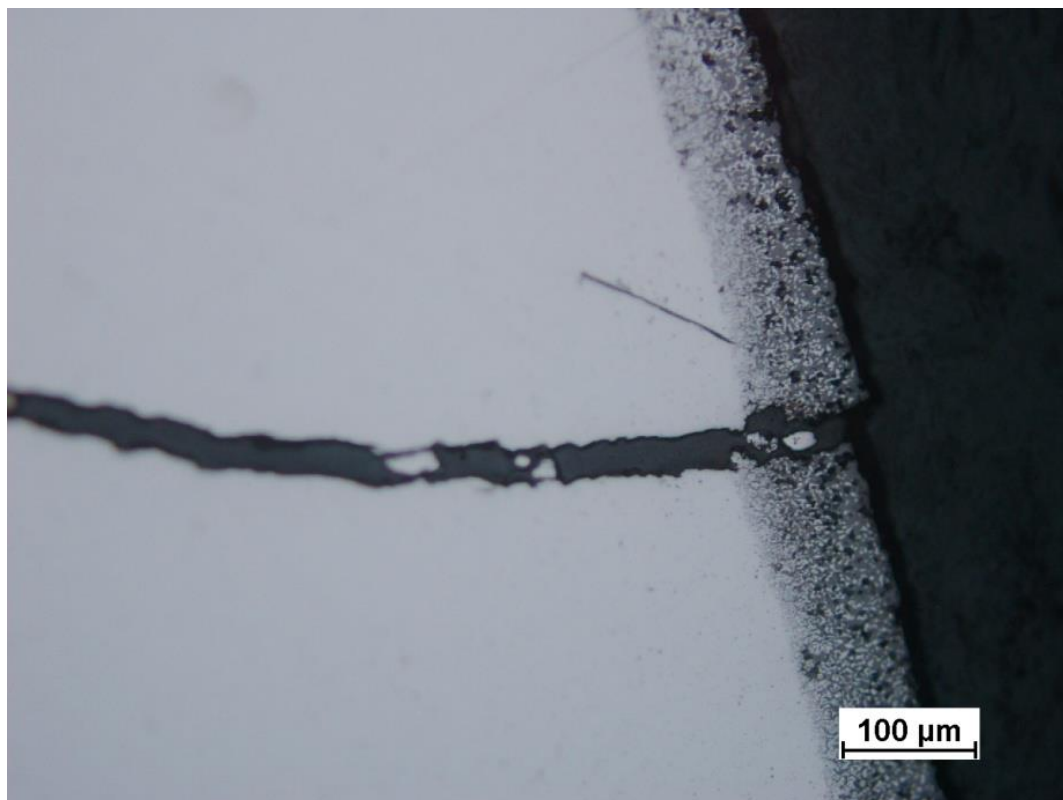
Vysoká hodnota austenitizační teploty v kombinaci s delší výdrží měla u všech vzorků za následek výraznou oxidaci povrchové oblasti až do hloubky cca 100 mikrometrů. V této zoxidované oblasti jsou patrné karbidické částice, které na rozdíl od matrice oxidují pomaleji. Příklad vzhledu oxidace na obrázku 7.1.

Tabulka 7.1: Hodnoty tepelného zpracování a výsledné tvrdosti vrtáku HSS-R - Din 338.

HSS-R- Din 338	Tepelné zpracování	Původní stav	Tvrdost (HRC)
R0	Původní stav	Upínací	18
R0	Původní stav	Řezná	63
R1	Kalení 1050°C/10min/Vzduch	Upínací	67
R2	Popouštění 560°C/15minx1	Řezná	62
R3	Popouštění 560°C/15minx2	Řezná	62
R4	Kalení 1050°C/25min/Vzduch	Řezná	65
R5	Kalení 1050°C/10min/Voda	Upínací	69

Tabulka 7.2: Hodnoty tepelného zpracování a výsledné tvrdosti vrtáku HSS-E Co.

HSS-E Co	Tepelné zpracování	Původní stav	Tvrdost (HRC)
C0	Původní stav	Upínací	23
C0	Původní stav	Řezná	67
C1	Kalení 1200°C/3 min/Vzduch	Upínací	63
C2	Popouštění 560°C/15minx1	Řezná	68
C3	Popouštění 560°C/15minx2	Řezná	67
C4	Kalení 1200°C/25min/Vzduch	Upínací	64
C5	Kalení 1200°C/3 min/Voda	Upínací	67



Obrázek 7.1: Prasklina u vzorku C5 způsobena zakalením do vody a oxidace povrchu způsobená dlouhou vydrží na austenitizační teplotě

8 Závěr

Práce obsahuje teorii o materiálech na nástroje, zejména o nástrojových ocelích. Dále obsahuje popis základních vlastností, mikrostrukturu a základy tepelného zpracování nástrojových ocelí.

Hlavní částí práce je experimentální materiálová analýza dvou běžně prodávaných monolitických ocelových vrtáků. Při identifikaci materiálů se ukázalo, že označení materiálů na balení vrtáků skutečně koresponduje s použitým materiálem. Jedná se o ocel (Cr-Mo-W-V) 19 555, to je vrták HSS - R DIN 338 a (Mo-Co-W) 19 852 ocel, to je vrták HSS-E Co. Podle dohledaných norem zjištěných materiálů bylo zjištěno, že normované hodnoty minimální tvrdosti odpovídají naměřeným hodnotám na dodaných vrtácích.

Podle údajů v normách (příloha A a příloha B) byla navržena série pokusů tepelného zpracování pro předem připravené vzorky vrtáků. Cílem experimentů bylo dosáhnout předem stanovených mechanických parametrů a ověřit tak platnost pravidel tepelného zpracování rychlořezných nástrojových ocelí. Řezné části vrtáků byly popouštěny a další vzorky upínacích částí byly zakaleny. Bylo provedeno několikanásobné popouštění po dobu patnácti minut. Upínací části vrtáků, které v dodaném stavu měly nízké hodnoty, tvrdosti byly ohřáty na austenitizační teplotu, kde vydržely na této teplotě jednak v řádu jednotek minut a v druhé sadě experimentů po dobu delší v řádu desítek minut. Následně vzorky upínacích částí byly zakaleny do vody nebo na vzduchu.

Zvolený cyklus popouštění měl na mikrostrukturu i tvrdost vzorků nepatrný vliv. Navržená popouštěcí teplota a doba ohřevu zapříčinila, že vrták dosáhl stejných nebo mírně vyšších hodnot tvrdosti. Z tohoto výsledku lze soudit, že zkoumané vrtáky vydrží a ponechají si vlastnosti při práci za takto vysokých teplot. Při kalení vzorky dosáhly vysoké tvrdosti v souladu s předpokladem. Bylo prokázáno, že oceli jsou kalitelné na vzduchu, dále byly pozorovány negativní vlivy příliš dlouhé výdrže na austenitizační teplotě a přímého ochlazení do vody. U kalených vzorků způsobila dlouhá výdrž na austenitizační teplotě zvětšení austenitického zrna a oduhličení povrchové oblasti vzorků. Největší vliv na výsledek při kalení mělo ochlazování do vody, kdy způsobilo popraskání vzorků, a tedy mělo by v praxi za následek destrukci a znehodnocení vyráběného kusu.

Seznam použité literatury

- [1] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.
- [2] FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994, 229 s.
- [3] PLUHAŘ, Jaroslav. *Nauka o materiálech*. Praha: SNTL, 1989, 549 s. : il. ; 25 cm
- [4] *Nástrojové oceli* [online]. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/struktura_a_vlastnosti_materialu/prednasky/07%20-%20Nastrojove%20oceli.pdf
- [5] *Fázové přeměny při tepelném zpracování* [online]. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/struktura_a_vlastnosti_materialu/prednasky/02-03%20-%20Fazove%20premeny%20pri%20TZ.pdf
- [6] Callister, W.D., Jr.: *Materials Science and Engineering. An Introduction*. John Wiley&Sons, Inc., 6th ed., 2003
- [7] *Zpracování nástrojových ocelí* [online]. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Nastrojove_oceli/MOP_Zpracovani%20nastrojovych_%20oceli.pdf
- [8] *Kalení a popouštění* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep07.pdf>
- [9] *Žihání ocelí* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.cz/2011/03/3681-zihani-oceli.html>
- [10] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. Úvaly: Albra. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [11] JECH, Jaroslav. *Tepelné zpracování oceli: metalografická příručka*. Praha: SNTL, 1969, 342 s. : il., tabulky, grafy. příloha (5 l.).
- [12] *Optická (světelná) mikroskopie* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://fchi.vscht.cz/files/uzel/0010367/8_cFAA.pdf?redirected
- [13] *NORMY, ZNAČENÍ OCELÍ* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/struktura_a_vlastnosti_materialu/cviceni/02-3SV-Normy%20PODKLADY.pdf
- [14] *Elektronová mikroskopie. Metalografie* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: http://www.csvs.cz/projekty/2014_veda_pro_zivot/data/11_KA3_Jaromir_Cais_2_Elektronov_a_%20mikroskopie_a_%20EDS_%20analyza_metodicka_prirucka.pdf
- [15] *Světelná mikroskopie a její aplikace* [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27255

Seznam použitých zkratk a symbolů

EDS	Energiově disperzní spektroskopie
PES	Svazek primárních elektronů
HV	tvrdost dle Vickerse
HRC	tvrdost dle Rockwella

Seznam příloh

Příloha A: Vrták HSS-R DIN 338	str.51
Příloha B: Vrták HSS-E Co	str.54

Příloha A: Vrták HSS-R DIN 338

Norma [Č. materiálu]

POLDI TLW Cr-Mo-W-V

PH 41 9555

Základní informace

Mechanické vlastnosti

Srovnání s ostatními normami

Tepelné zpracování

Chemické složení

Si	C	Mn	Cr	Mo	V	W
0,8	0,3	0,2	4,8	1,1	0,2	1,1
1,2	0,4	0,5	5,8	1,6	0,4	1,5

Použití

Nástrojová ocel s velkou prokalitelností, ke kalení v oleji, na vzduchu nebo v termální lázni, s vysokou pevností za tepla nebo za studena, dobrou odolností proti opotřebení i proti propouštění a houževnatostí.

Poznámka

Norma [Č. materiálu]

POLDI TLW Cr-Mo-W-V

PH 41 9555

Základní informace

Mechanické vlastnosti

Srovnání s ostatními normami

Tepelné zpracování

Polotovary

Skupina 1	Skupina 2	Skupina 3	Skupina 4	Poznámka
za tepla	válcované nebo kované	tyče	tepelně zpracované	
za tepla	válcované nebo kované	výklovky	tepelně zpracované	

Stavy

Název	Poznámka
.4	
.3	žíhaný na měkko

Rozměry

Rozměr	Poznámka
20 - 20	

Mechanické vlastnosti

Mechanická vlastnost	Teplota	Hodnota	Poznámka	Poznámka
Tvrdost HRC	20	>= 50		

POLDI TLW Cr-Mo-W-V

PH 41 9555

Základní informace

Mechanické vlastnosti

Srovnání s ostatními normami

Tepelné zpracování

Polotovary

Skupina 1	Skupina 2	Skupina 3	Skupina 4	Poznámka
za tepla	válcované nebo kované	tyče	tepelně zpracované	
▶ za tepla	válcované nebo kované	výkovky	tepelně zpracované	

Stavy

Název	Poznámka
.4	
▶ .3	žíhaný na měkko

Rozměry

Rozměr	Poznámka
▶	neuvedeno

Mechanické vlastnosti

Mechanická vlastnost	Teplota	Hodnota	Poznámka	Poznámka
▶ Tvrdost HB		20 >= 225	cca.	

POLDI TLW Cr-Mo-W-V

PH 41 9555

Základní informace | Mechanické vlastnosti | Srovnání s ostatními normami | Tepelné zpracování

Tepelné zpracování

Název	Min. hodnota	Max. hodnota	Výdrž	Ochlazování	Poznámka
Tváření	1100	900	v peci nebo v suchém prostředí		
Žíhání na měkko	780	820	pomalu v peci	několik hodin (4 hodiny)	
Žíhání ke snížení prnutí	600	650	v peci	1 až 2 hodiny	
Kalení	1000	1050	tvarově jednodušší v oleji		
▶ Popouštění	500	650	vzduch		

Norma [Č. materiálu]

POLDI TLW Cr-Mo-W-V

PH 41 9555

Základní informace

Mechanické vlastnosti

Srovnání s ostatními normami

Tepelné zpracování

Polotovary

Skupina 1	Skupina 2	Skupina 3	Skupina 4	Poznámka
za tepla	válcované nebo kované	tyče	tepelně zpracované	
▶ za tepla	válcované nebo kované	výkovky	tepelně zpracované	

Stavy

Název	Poznámka
.4	
▶ .3	žíhaný na měkko

Rozměry

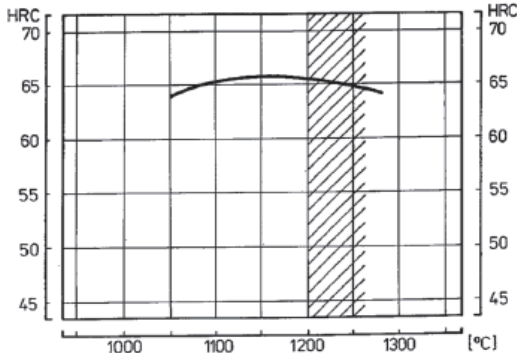
Rozměr	Poznámka
▶	neuvedeno

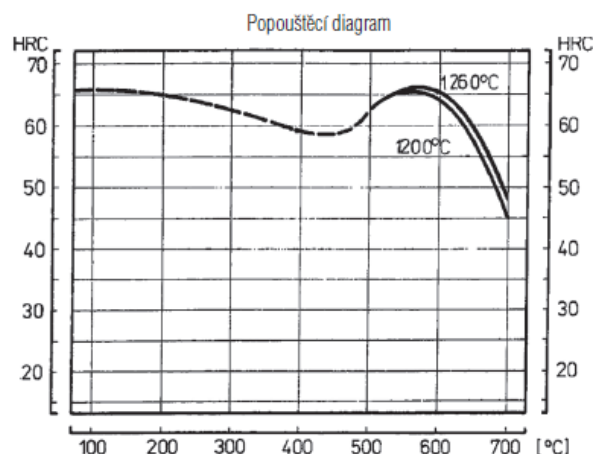
Mechanické vlastnosti

Mechanická vlastnost	Teplota	Hodnota	Poznámka	Poznámka
▶ Tvrdost HB		20 >= 225	cca.	

POLDI TLW Cr-Mo-W-V			
PH 41 9555			
Základní informace	Mechanické vlastnosti	Srovnání s ostatními normami	Tepelné zpracování
Ekvivalentní normy			
	Název	Značka	Stát
►	Nenormalizovaná	X 37 CrMoW 51	Německo
	1.2606		
	BS BH12	BH12	Velká Británie
	AISI H12	H12	USA
	PH 41 9555	19 555	

Příloha B: Vrták HSS-E Co

ČSN 41 9852 STN 41 9852		Rychlořezná vysoce výkonná Mo-W-Co ocel					19 852 Značka		
Chemické složení [hm. %]									
C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	Co	P	S
0,80–0,90	max 0,45	max 0,45	3,80–4,60	5,50–7,00	1,50–2,20	4,50–5,50	4,30–5,20	max 0,035	max 0,035
Dovolené úchytky chemického složení hotového výrobku									
± 0,02	–	–	± 0,10	+ 0,30	± 0,05	+ 0,10	± 0,10	–	–
Polotovary									
[1] tyče válcované za tepla – kruhové do průměru 34 mm – čtvercové do průměru 24 mm – ploché do rozměru 30 × 5–15 mm [2] tyče broušené [3] výkovky – kruhové do průměru 150 mm – čtvercové do průměru 130 mm – ploché do rozměru 200 × 50 mm									
Mechanické vlastnosti ¹⁾									
Polotovary			[1] [2] [3]						
Rozměr d [mm]			–			20			
Stav			.3			kalený a popuštěný (.4)			
Tvrdost HRC			–			66 (K.t. 1 230 °C/olej; P. T. 560–580 °C/3 × 1 h)			
Mez kluzu v tlaku R _{el} [MPa]			–			neměřitelná			
Pevnost v ohybu R _{m0} [MPa]			–			3 900 (při tvrdosti cca 66 HRC)			
Tvrdost HB max			275			–			
Fyzikální vlastnosti ²⁾									
Hustota [kg.m ⁻³]	Měrná tepelná kapacita c _p [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]		Teplotní součinitel roztažnosti α [K ⁻¹]		Tepelná vodivost λ _t [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]		Konduktivita λ _e [MS.m ⁻¹]		
8 100	–		–		–		–		
Odolnost proti degradačním procesům									
ODOLNOST PROTI KOROZI malá					ODOLNOST PROTI KŘEHKÉMU LOMU malá				
Technologické údaje									
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ žhánání na měkko 780–820 °C 4–8 h na teplotě, ochlazovat v peci žhánání ke snížení prnutí 700–750 °C 1–2 h na teplotě, ochlazovat v peci kalení ³⁾ a) 1 230–1 260 °C } ochlazovat v oleji, solná lázeň 500–550 °C b) 1 200–1 230 °C } nebo dmych. vzduchem, min tvrdost 63 HRC prokalitelnost v celém průřezu používaných nástrojů popouštění ³⁾ a) 570–590 °C } 3× až 4× 1/2 až 2 h převážně 65–66 HRC, nebo podle potřeby b) 560–580 °C } teploty přeměn A _{c1} ~ 820–850 °C M _s ~ 165–185 °C									
Kalicí diagram									
									



TVARITELNOST
obtížně tvaritelná teploty tváření 1 100–900 °C pomalu ochlazovat v peci nebo v popelu

SVARITELNOST
obtížná

OBROBITELNOST třída obrobitelnosti
soustružení a hoblování 9b
frézování a vrtání 9b
broušení 6b

Použití

Řezné nástroje. Vysoce výkonné obráběcí nástroje s velkou řezivostí při zvětšených nárocích na houževnatost a velkou trvanlivost pro opracování kovových materiálů o velké pevnosti a některých těžko obrobitelných materiálů, jako např. soustružnické nože, nože hoblovací a obráběcí, frézy, vrtáky, výstružníky, závitníky, závitové čelisti, nože na ozubení, protahovací a protlačovací trny.

Ostatní vlastnosti

Druh oceli podle způsobu výroby	Barevné značení podle ČSN 42 0010	Třída odpadu podle ČSN 42 0030
elektroocel	hnědá–fialová–zlatá	057

Porovnání se zahraničními materiály

ISO		EURO		Německo	
HS6-5-2-5	ISO 4957-99	HS6-5-2-5	EN ISO 4957-99	HS 6-5-2-5	DIN 17350-80
Francie		Velká Británie		Rusko	
Z85WDKCV06-05-04-02 HS 6-5-2-5	NF A35-590-78 NF A35-590-92	BM35	BS 4659-89	R6M5K5	GOST 19265-73
USA		Japonsko		Kanada	
–	–	SKH55	JIS G4403-06	–	–
Itálie		Rakousko		Švédsko	
HS 6-5-2-5	UNI 2955-82	S705	VEW-78	2723	SS 142723
Polsko		Maďarsko		Norsko	
SK5M	PN H85022-86	R8	MSZ 4351-84	–	–
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
917	SFS 917	–	–	HS 6-5-2-5	UNE 36018-94
Čína		Brazílie		Korea	
W6Mo5Cr4V2Co5	GB 9943-08	VK-SE	Br. 800	SKH55	KS D3522-08

Poznámky

¹⁾ Hodnoty tvrdosti platí pro referenční vzorky $\varnothing 20 \times 20$ mm.
²⁾ Fyzikální vlastnosti jsou uvedeny pro žitý stav na měkko.
³⁾ a) Tvarově jednoduché, hrubovací nástroje.
b) Tvarově složité a jemnobřítké nástroje, nástroje vyžadující zvýšenou houževnatost.

Normy EN přejímají následující země: Belgie, Bulharsko, Česká republika, Dánsko, Estonsko, Finsko, Francie, Irsko, Island, Itálie, Kypr, Litva, Lotyšsko, Lucembursko, Maďarsko, Malta, Německo, Nizozemsko, Norsko, Polsko, Portugalsko, Rakousko, Rumunsko, Recko, Slovensko, Slovinsko, Spojené království, Španělsko, Švédsko a Švýcarsko.

Norma ČSN i STN zrušena.